

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SECCION DE POSGRADO Y SEGUNDA ESPECIALIZACION



**REDUCCIÓN DE EMISIONES DE EFECTO INVERNADERO POR
CAMBIO DE COMBUSTIBLE Y MENOR USO DE CLINKER EN
LA FABRICACIÓN DE CEMENTO**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN GESTIÓN
AMBIENTAL**

ELABORADO POR

**JENNY MERCEDES TEODOSIO CASTILLO
DAVID ENRIQUE CUETO SÁNCHEZ**

ASESOR

DR. RAYMUNDO ERAZO ERAZO

LIMA - PERÚ

2014

DEDICATORIA

A nuestras amadas hijas Fiorella y Fabiana
quienes constituyen nuestro impulso para
seguir avanzando.

AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater, Universidad Nacional de Ingeniería, por darnos el prestigio de ser sus ex alumnos.

A nuestra facultad, Ingeniería Ambiental, por brindarnos los conocimientos profesionales que hoy ejercemos.

A nuestros profesores, por compartir con nosotros sus conocimientos profesionales y sus experiencias laborales; pero en especial a nuestro asesor, por la colaboración prestada y comprensión personal.

A nuestros centros laborales, por brindarnos la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente.

A nuestros padres, por darnos el ejemplo de constancia y perseverancia.

A nuestras hijas, por permitirnos compartir su tiempo con nuestros estudios.

A Dios, por permitirnos conocernos y compartir nuestras vidas juntas.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE DE CONTENIDO	iii
INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y ECUACIONES	v
RESUMEN	ix
ABSTRAC	x
INTRODUCCIÓN	1
CAP I	3
1.1 Antecedentes bibliográficos	3
1.2 Descripción de la realidad problemática	10
1.3 Formulación del problema	16
1.4 Justificación de la investigación	16
1.5 Objetivos	16
1.6 Hipótesis	17
1.7 Variables	17
1.8 Unidad de análisis	17
1.9 Tipo y nivel de investigación	18
1.10 Período de análisis	18
1.11 Fuentes de información	18
1.12 Procesamiento de datos	21
CAP II	30
2.1 Marco teórico y conceptual	30
CAP III	64
3.1 Desarrollo del trabajo y análisis de resultados	64
3.2 Cálculo por cambio de combustible	64

3.2.1 Línea base para cambio de combustible	65
3.2.2 Resultados por cambio de combustible	67
3.3 Cálculo por uso de adiciones	86
3.3.1 Línea base para uso de adiciones	86
3.3.2 Resultados por uso de adiciones	86
3.4 Resultados de emisión de CO ₂ por horno	108
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS	120
A Glosario de siglas usadas en el mercado de carbono.	
B Norma Técnica Peruana NTP 334.090:2007 “CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos”. Norma ASTM C595/C595M-10 “Standard Specification for Blended Hydraulic Cements”	
C Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero.	
Cap. 1 Introducción Cuadros 1.2 y 1.4	
Cap 2 Emisiones Industria de Minerales. Secc.: 2.2 Producción de Cemento	
D Mecanismo de Desarrollo Limpio - Documento de Diseño del Proyecto (Clean Development Mechanism - Project Design Document CDM-PDD “Cambio de combustible de carbón a gas natural en la planta industrial de cementos Atocongo, Cementos Lima, Perú”.	
E Informe de verificación y certificación del proyecto MDL registrado Verification and Certification Report of the Registered CDM Project “Fuel switching at Atocongo Cement Plant and natural gas pipeline extension, Cementos Lima, Perú”	
F Emisión y comercialización de Certificados de Reducción de Emisiones – CERs. Unión Andina de Cementos S.A.A. - UNACEM S.A.A. (Ex - CEMENTOS LIMA). Periodo 2008 – 2012.	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Cambios climáticos que se prevé sufra el Mundo antes de 2099	6
Tabla 2	Resumen de agenda de acción para la sostenibilidad del sector cemento	11
Tabla 3	Gases de efecto invernadero considerados por el protocolo de Kyoto	41
Tabla 4	Factores de emisión de CO ₂ para la combustión	66
Tabla 5	Poder calorífico inferior (PCI) o valores calóricos netos (VCN)	67
Tabla 6	Densidad y PCI Gas Natural Datos de Pluspetrol y Cálidda	69
Tabla 7	Propiedades del gas natural y emisiones de CO ₂ generadas por consumo de Gas Natural	70
Tabla 8	Propiedades del D-2 y emisiones de CO ₂ por consumo de D-2	71
Tabla 9	Propiedades del R-6 y emisiones de CO ₂ por consumo de R-6	72
Tabla 10	Propiedades del carbón y emisiones de CO ₂ por consumo de carbón	73
Tabla 11	Propiedades de combustibles y su relación con el metano	76
Tabla 12	Cálculos de consumo de energía de combustibles anuales de LB y determinación de penalidad por fugas	74
Tabla 13	Cantidad de combustible sustituido por gas natural	78
Tabla 14	Cálculo de emisiones de CO ₂ de Línea Base	79
Tabla 15	Factores de emisión de CO ₂ de LB	81
Tabla 16	Reducción de emisiones anuales de CO ₂ por cambio de combustible	82

Tabla 17.	Emisiones anuales de CO ₂ y Factor de Emisión (FE) de combustibles	83
Tabla 18	Factores de Emisión (FE) de CO ₂ de combustible de Línea Base y del proyecto por uso de Gas Natural	84
Tabla 19	Fracción de descarbonatación – Clínter I	89
Tabla 20	Fracción de descarbonatación – Clínter IBA	90
Tabla 21	Fracción de descarbonatación – Clínter II	91
Tabla 22	Fracción de descarbonatación – Clínter V	92
Tabla 23	Resumen Factor descarbonatación integral en hornos	93
Tabla 24	Resumen de Factores de Emisión de CO ₂ en hornos	94
Tabla 25	Factores de emisión de CO ₂ Cemento Tipo I	95
Tabla 26	Factores de emisión de CO ₂ Cemento Tipo IP	96
Tabla 27	Factores de emisión de CO ₂ Cemento Tipo V	97
Tabla 28	Factores de emisión de CO ₂ Cemento Tipo II	98
Tabla 29	Factores de emisión de CO ₂ Cemento Tipo IBA	99
Tabla 30	Resumen de factores anuales de emisión de CO ₂	100
Tabla 31	Porcentajes de clínter en los tipos de cemento	101
Tabla 32	Cantidades y porcentajes de cementos producidos (t,%)	102
Tabla 33	Resumen de emisiones de CO ₂ por tipo de cemento producido	104
Tabla 34	Reducción de emisiones de CO ₂ por adición de caliza	105
Tabla 35	Reducción de emisiones de CO ₂ por elaboración de cemento adicionado	106
Tabla 36	Cuadro resumen de factores de emisión por horno	108
Tabla 37	Factores de emisión de CO ₂ de hornos	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Concentraciones de CO ₂ en la Atmósfera	3
Figura 2	Niveles de concentración registrados de 1958 a marzo 2014 en el Observatorio de Mauna Loa – Hawaii – Estados Unidos	4
Figura 3	PBI Nacional 2009-2014 – Reporte Oct-13 Banco Scotiabank	13
Figura 4	Pantalla inicial Sistema de Base de datos “Celisistemas”	19
Figura 5	Ejemplo de datos de producción obtenido de Celisistemas	20
Figura 6	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ de la producción de cemento	25
Figura 7	El efecto invernadero	34
Figura 8	Proceso de producción de cemento	48
Figura 9	Porcentaje de familias que no cuentan con un techo para vivir o habitan en viviendas de mala calidad	61
Figura 10	Consumo Per cápita Latinoamérica y El Caribe 2012	62
Figura 11	Producción de cemento por regiones	63
Figura 12	Emisiones netas específicas de CO ₂ por tonelada de producto cementante	63
Figura 13	Factores anuales de emisión de CO ₂ por tipo de cemento	100
Figura 14	Porcentajes de clínker en los tipos de cemento	101
Figura 15	Porcentajes de cementos tradicionales vs cementos adicionados	103
Figura 16	Producción de cementos tradicionales vs cementos adicionados	103
Figura 17	Reducción de emisiones de CO ₂ en la elaboración de cemento	104
Figura 18	Reducción de emisiones de CO ₂ por adición de caliza	106
Figura 19	Reducción de emisiones de CO ₂ por cemento adicionado	107
Figura 20	Comparación entre emisiones de CO ₂ de LB y por cambio de combustible	109
Figura 21	Factores de emisión de CO ₂ de hornos	110

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Reacción de calcinación	22
Ecuación 2	Reacción de liberación de CO ₂ inducida por ácidos	22
Ecuación 3	Nivel 1- Emisiones basadas en la producción de cemento	26
Ecuación 4	Nivel 2-Emisiones basadas en los datos sobre producción de clinker	26
Ecuación 5	Nivel 3-Emisiones basadas en las entradas al horno de materias primas carbonatadas	28
Ecuación 6	Penalidad por fuga de emisiones de metano	77
Ecuación 7	Energía total de aporte de todos los combustibles	80
Ecuación 8	Consumo específico anual de energía del proyecto por tonelada de clínker	80
Ecuación 9	Consumo específico de energía de línea de base por año	80
Ecuación 10	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de cemento	87

RESUMEN

El desarrollo de esta tesis tuvo como finalidad determinar la cantidad de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) que se logró reducir en una planta de cemento ubicada en Lima, con la implementación de proyectos de cambio combustible de carbón por gas natural y el uso de materiales de adición como la caliza y puzolana en reemplazo de clínker en la fabricación de cementos adicionados.

Para calcular la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero dejadas de emitir en la fabricación de clínker y cemento entre los años 2007 y 2012, se utilizó el método aprobado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ACM 0003 versión 07.3 “Reducción de emisiones por sustitución parcial de combustibles fósiles con combustible alternativo menos intensivos en la fabricación de cemento”. También se aplicó el método establecido en las Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de 2006, para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Capítulo II “Emisiones de la Industria de los Minerales”.

Se calculó los factores de emisión de dióxido de carbono (CO_2) por tonelada de cada tipo de clínker y de cemento producido, y se cuantificó la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero conseguida con la implementación de los proyectos mencionados, las mismas que superan las 116 mil toneladas de dióxido de carbono equivalente como promedio anual.

Las conclusiones y recomendaciones están dirigidas a mejorar el desempeño ambiental del sector cemento en la lucha contra el cambio climático, mediante el mayor consumo de gas natural como principal combustible en la fabricación de clínker y el incremento de los materiales de adición extendiéndolo al uso de escorias, cenizas volantes, filler calizo entre otros, en la fabricación de nuevos cementos adicionados para reducir el factor clínker/cemento, buscando obtener un mayor impacto en el mercado nacional bajo una estrategia comercial eficaz.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to determine the reduction of equivalent carbon dioxide (CO₂e) emissions achieved by a cement plant located in Lima, Peru, after implementing fuel switching projects (from coal to natural gas) and adding materials – such as limestone and pozzolanic additives – to replace the clinker used for manufacturing blended cement.

The ACM 0003 methodology “Emissions reduction through partial substitution of fossil fuels with alternative fuels or less carbon-intensive fuels in cement manufacture (Version 7.3) of the United Nations Framework Convention on Climate Change was used to calculate the reduction of greenhouse gas emissions in the manufacture of clinker and cement during period 2007–2012, as well as Chapter II “Mineral Industry Emissions” of the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories issued by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Carbon dioxide (CO₂) emission factors were calculated per ton according to each type of clinker and cement. Likewise, the reduction of greenhouse gas emissions was determined after the implementation of the above mentioned projects. The average annual reduction of equivalent carbon dioxide is over 116,000 tons.

The conclusions and recommendations support the improvement of the cement industry’s environmental performance to tackle climate change by increasing the use of gas natural as main fuel in the production of clinker, and by increasing the use of additives – such as slag, flyash, and limestone fillers, among others – that reduce the clinker-to-cement ratio in the manufacture of new blended cements in order to obtain a greater impact in the national market through a commercially effective strategy.

INTRODUCCIÓN

La industria del cemento es una actividad, que a través de su producto abastece mercados regionales, y requiere para su proceso de fabricación grandes cantidades de materia prima y un consumo intensivo de energía, debido principalmente a las altas temperaturas que son necesarias alcanzar para la fabricación del clínker, que es el componente principal para la elaboración de cemento. Entre las líneas de acción del sector cementero para reducir y optimizar el consumo de combustible, las empresas se han orientado a la modernización de sus instalaciones utilizando hornos de mayor tamaño para lograr mayores eficiencias en la calcinación de clínker, uso de combustibles alternativos y/o mas amigables al medio ambiente; así como, el reemplazo en alguna proporción de la composición del cemento incorporando un subproducto del proceso o algún material de origen natural que brinde similares características cementantes, pero a la vez ayude a mejorar su desempeño económico y socioambiental.

La presente tesis está orientada a determinar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la planta industrial “Atocongo” de la empresa cementera Unacem S.A.A. (antes Cementos Lima S.A.A.), ubicada en el distrito de Villa María del Triunfo, Lima; cuya reducción es lograda con la implementación de proyectos importantes como la sustitución parcial de carbón por gas natural y el reemplazo de clínker en la formulación del cemento por adición de caliza y de puzolana para elaboración de cementos adicionados.

En el desarrollo de la tesis se resume el proceso de fabricación de cemento, cuyas etapas generan emisiones de gases y partículas, debido a la reducción de tamaño de materia prima, reacciones físicas y químicas generadas por la combustión a elevadas temperatura generando la descarbonatación y calcinación del crudo, posterior enfriamiento, a fin de

obtener el producto intermedio denominado clínker; este subproducto es molido conjuntamente con yeso y/o otros materiales de adición para obtener los diversos tipos de cementos tradicionales y adicionados.

Como metodología se ha utilizado Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Capítulo II “Emisiones de la Industria de los Minerales” del año 2006 y el método ACM 0003 versión 07.3 “Emissions reduction through partial substitution of fossil fuels with alternative fuel or less carbón intensive fuels in cement manufacture”, aprobado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, del cual Perú forma parte.

Según estos métodos se procedió a calcular la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero dejadas de emitir en la fabricación de clínker y cemento, usando como base información estadística de los años 2004 al 2012 de consumo de combustibles, producción de cada tipo de clínker y de cemento, cantidad de adiciones de caliza; así como, factores de emisión de dióxido de carbono por unidad de energía y otras propiedades importantes de cada tipo de combustible, clínker y cemento. Se estableció como Línea de Base de comparación los resultados de años anteriores a la implementación de ambos proyectos; los años 2003-2005 para el caso de sustitución de carbón por gas natural y del año 2004-2006 para el caso del reemplazo de clínker por otros materiales como caliza y puzolana.

Esta tesis nos demuestra que orientando los esfuerzos en diseñar nuevos productos de cementos adicionados, que logren reducir el factor clínker/cemento, el sector cemento viene realizando importantes inversiones para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, y que aún se pueden lograr mejorar el desempeño ambiental y social.

CAPITULO I

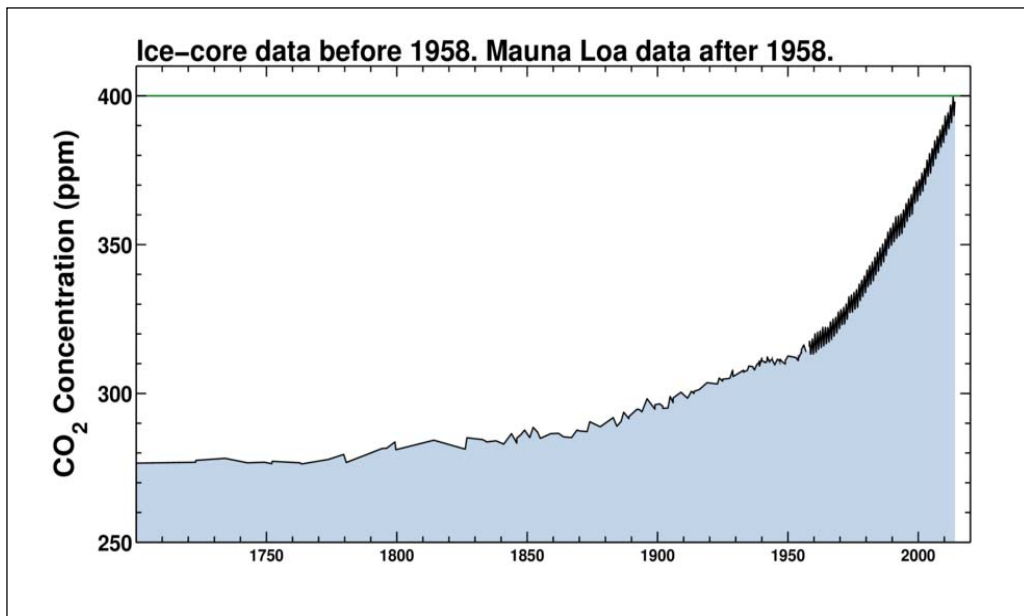
1.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS IMPLICANCIAS

En la actualidad el “cambio climático” atribuido principalmente al incremento de gases de efecto invernadero, constituye uno de los principales problemas medioambientales que está afrontando la humanidad, situación que es señalada por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) cuando “reconoce que los cambios del clima de la Tierra y sus efectos adversos son una preocupación común”.

Las Partes de la Convención expresan su preocupación “porque las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y porque ese aumento intensifica el efecto invernadero natural, lo cual dará como resultado, en promedio, un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera y puede afectar adversamente los ecosistemas naturales y a la humanidad”.

Figura 1: Concentraciones de CO₂ en la atmósfera.

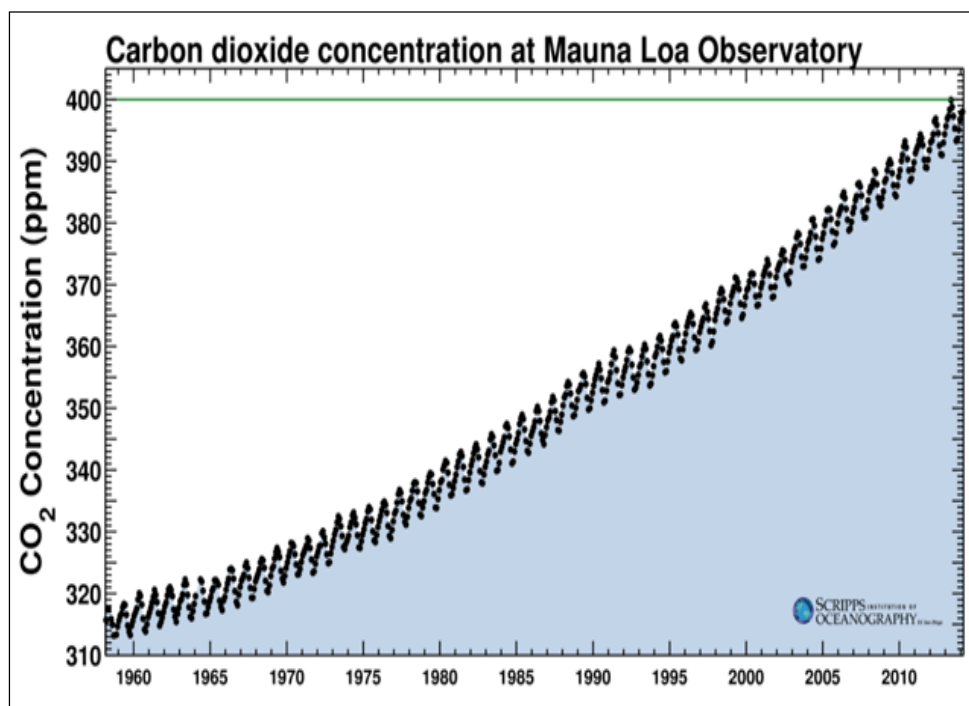


Fuente: Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego United State 2014. La Curva de Keeling. Desde el año 1700 hasta el presente.

Debido a los estudios realizados con los modelos que simulan el clima, existe el convencimiento de que un aumento de la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero, que viene desde la revolución industrial, (Figura 1) provoca alteraciones en el clima con innumerables consecuencias.

Los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera están aumentando y el 9 de mayo 2013, la concentración media diaria de dióxido de carbono en la atmósfera superó las 400 partes por millón (ppm) por primera vez desde que comenzaron las mediciones en 1958 en el observatorio de Mauna Loa, Hawaii.¹

Figura 2: Niveles de concentración registrados de 1958 a marzo 2014 en el Observatorio de Mauna Loa – Hawaii – Estados Unidos.



Fuente: Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego United State 2014. La Curva de Keeling. Full record.

¹ Traducción de un extracto de la publicación: Carbon Dioxide at NOAA's Mauna Loa Observatory reaches new milestone: Tops 400 ppm. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). U.S. Department of Commerce, may 10, 2013. <http://www.esrl.noaa.gov/news/2013/CO2400.html>.

La diferencia fundamental entre estos cambios naturales y la evolución actual del sistema climático, no está tanto en los procesos y sus causas, sino en la velocidad a la que se producen las alteraciones, tanto en la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero como en el clima.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés) constituye una de las fuentes de información más precisas sobre el cambio climático. Integrado por miles de científicos de diferentes disciplinas, apoya a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y generan informes que si bien son muy técnicos, contienen material de base para posteriores estudios y toma de decisiones.

Desde el Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (IPCC), publicado en el año 2001, se confirma que, a lo largo del siglo pasado, la temperatura media global en la superficie ha aumentado. En dicho informe además, se atribuyen por primera vez, las causas del calentamiento observado a las actividades humanas.

La evaluación del IPCC, divulgada en el cuarto informe (febrero 2007), señaló una tendencia creciente en los eventos extremos observados en los últimos cincuenta años anteriores y consideraba probable que las altas temperaturas, olas de calor y fuertes precipitaciones continuarían siendo más frecuentes en el futuro, lo cual, en los años posteriores sería desastroso para la humanidad.

Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), coordina diversas acciones de educación ambiental. Es así como un taller de iniciativa regional del Caribe, se transformó en el programa internacional dinámico Guardarenas, que actualmente se difunde por países de África, Asia, Europa y las Islas del Caribe, el Pacífico y el Índico. En una publicación realizada por el programa², se presenta una compilación de información divulgada en el cuarto informe de evaluación del IPCC. Aclara esta publicación, que las previsiones respecto del cambio climático varían según las regiones, por lo que es recomendable recurrir a fuentes locales como oficinas meteorológicas e informes nacionales sobre cambio climático para obtener información relativa a cada país.

² UNESCO. 2012. Guardarenas: Adaptarse al cambio climático y educar para el desarrollo sostenible. París: UNESCO, 146 páginas.

En la Tabla 1 se muestra los cambios previstos en el mundo hasta 2099, publicadas por el programa Guardarenas de la UNESCO.

Tabla 1. Cambios climáticos que se prevé sufra el mundo antes de 2099.

Parámetro	Cambio previsto
Temperatura	Aumento de entre 1,1 °C y 6,4 °C.
Aumento del nivel del mar*	Aumento de entre 0,18 m y 0,59 m.
Acidificación de los océanos	Disminución del pH de entre 0,14 y 0,35 unidades (lo que provocará un aumento de la acidez).
Cantidad de nieve y hielo	Disminución de la extensión del área de hielo y nieve.
Extremos: olas de calor y fuertes precipitaciones	Fenómenos más extremos.
Ciclones tropicales	Ciclones tropicales más intensos.
Precipitaciones	Los cambios variarán según las regiones: algunas zonas se volverán más secas y otras más húmedas.
*El cambio previsto en cuanto al volumen del nivel del mar no tiene en cuenta todos los efectos de los cambios que sufrirán la capa de hielo porque falta fundamento en la documentación publicada.	

Fuente: Guardarenas adaptarse al cambio climático y educar para el desarrollo sostenible.

Aunque estas informaciones parecían catastróficas, los datos estaban refrendados por los científicos más prestigiosos y por el Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático. Aunque existía todavía mucha incertidumbre que no permitían cuantificar con suficiente precisión los cambios previstos, la información validada hasta ese entonces era suficiente para tomar medidas de forma inmediata, considerando que el conocimiento de la existencia de incertidumbre no debería ser un pretexto para no tomar medidas.

Así lo contemplaba la propia Convención Marco en su Artículo 3 al referirse al principio de precaución: “Las Partes deberían tomar medidas de precaución para prevenir, prevenir o reducir al mínimo las causas del cambio climático y mitigar sus efectos adversos. Cuando haya amenaza de daño grave o irreversible, no debería utilizarse la falta de total certidumbre científica como razón para posponer tales medidas, teniendo en cuenta que las políticas y medidas para hacer frente al cambio climático deberían ser eficaces en función de los costos a fin de asegurar beneficios mundiales al menor costo posible. A tal fin esas políticas y medidas deberían tener en cuenta los distintos contextos socioeconómicos, ser integrales, incluir todas las fuentes, sumideros y depósitos pertinentes de gases de efecto invernadero y abarcar todos los sectores económicos”.

Por ello el cambio climático es uno de los retos más importantes a que se enfrentan los países en el Siglo XXI. Avanzar en los niveles de bienestar y desarrollo humano, y mantener la estabilidad y el crecimiento económico evitando las interferencias sobre el sistema climático, supone un importante reto social y tecnológico³.

Considerando estas observaciones, los países desarrollados y en desarrollo, así como organismos internacionales liderados por las Naciones Unidas, Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), entre otros iniciaron esfuerzos conjuntos en la implementación de acciones a través de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que establece en su Art. 2 que su objetivo último es “lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”.

A fin de dar un primer paso para el logro de este objetivo el Protocolo de Kyoto (PK), adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kioto, Japón, pero que entró en vigor el 16 de febrero de 2005, estableció un primer periodo de compromiso 2008-2012 en el que las emisiones de los países desarrollados debían reducirse un 5.2% respecto del año base (1990).

En el ámbito mundial, se vienen desarrollando actuaciones relacionadas con el conocimiento del clima y el cambio climático a través de una serie de programas y actividades de carácter multidisciplinario, que reúnen y coordinan numerosos recursos de investigación dedicados al estudio de los temas climáticos más importantes y urgentes. Existen programas que tratan de dar respuesta a los desafíos de la Agenda 21 y a la Convención Marco de Cambio Climático y se rigen por las directrices del Programa Mundial sobre el Clima. Algunos de estos Programas están copatrocinados y operan bajo la coordinación de entidades como la Organización de las Naciones Unidas y del Consejo Internacional de la Ciencia.

³ Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático, 2012.

En la sexta Conferencia sobre el Cambio Climático y el Sector Empresarial en Australia-Nueva Zelanda, la secretaria ejecutiva de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, resaltó en su discurso la importancia de brindar seguridad a la empresa privada respecto del Protocolo de Kyoto que considera entre sus instrumentos al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) sobre la incertidumbre de que pasaría después del año 2012, citando lo siguiente:

...La conferencia se celebra en un momento oportuno, porque la acción efectiva y el progreso de la reducción del cambio climático son casi inconcebibles sin una intensa participación del sector empresarial y sin un considerable aumento de la cooperación entre los sectores público y privado y dentro de cada uno de ellos. El sector empresarial innova, el sector empresarial implementa y el sector empresarial impulsa tendencias...Puede que al sector empresarial todo esto le parezca demasiado vago, pero tanto el deseo de ver las medidas puestas en práctica como la labor para mantener el MDL después de 2012 apuntan hacia el hecho de que se va a intensificar la acción para reducir el cambio climático, paso a paso... Junto con el MDL un nuevo Mecanismo Tecnológico proporcionará nuevas oportunidades para que el sector empresarial actúe. Las medidas de mitigación adecuadas a cada país que tomen los países en desarrollo también podrían abrir nuevas posibilidades de mitigación con un alcance más amplio que el del MDL. También están surgiendo oportunidades de adaptación en las que la participación del sector privado puede ser significativa...

(Christiana Figueres, Agosto 2010)⁴

Los países en desarrollo como es el caso del Perú que forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) desde 1992 y del Protocolo de Kyoto desde 2002, se alinea al objetivo de la Convención de “estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y evitar llegar a un nivel de interferencia antropógena peligrosa”.

⁴ 6° Conferencia sobre el Cambio Climático y el Sector Empresarial en Australia-Nueva Zelanda, realizada del 10 al 12 de agosto de 2010 en Sidney, Australia.

Cabe mencionar que el Perú presentó a las Naciones Unidas su Segunda Comunicación Nacional⁵ en el año 2010, donde informaba a los países Partes sobre sus emisiones y niveles de captura de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y sobre las medidas que adoptaría o preveía adoptar para aplicar la Convención, en los sectores energía, bosques, transporte e industrias.

En este contexto internacional y nacional, la empresa privada actúa desde su perspectiva empresarial, cuyo enfoque está orientado principalmente a obtener rentabilidad económica, y si de ella se desprenden beneficios en el desempeño ambiental y de responsabilidad social, los proyectos de desarrollo que se implementen cuentan con una ventaja esencial, debido a que fortalece su imagen y reputación.

Existen diversos proyectos que se han ejecutado debido a la adicionalidad que le ha brindado el instrumento económico-ambiental denominado Mecanismo de Desarrollo Limpio, debido a la oportunidad de venta de certificados de reducción de emisiones (CER su sigla en inglés) de gases de efecto invernadero, mecanismo que permite la inversión de un país desarrollado en proyectos de reducción de emisiones o de fijación de carbono en un país en desarrollo. El beneficio para el receptor sería una transferencia de tecnología limpia mientras que el inversor añade, a la rentabilidad normal del proyecto, la posibilidad de apuntarse en su cuenta una parte de las emisiones evitadas, facilitándose así el cumplimiento de sus compromisos⁶.

...Somos la primera generación que entiende las consecuencias de una economía con altas emisiones de carbono para el planeta, la prosperidad futura y en especial para los más vulnerables de todo el mundo.

Seamos la generación que se ponga en pie y asuma la responsabilidad que conlleva ese conocimiento. Mahatma Gandhi sabiamente nos advirtió de que

«el futuro depende de lo que hacemos en el presente»...

(Christiana Figueres, Mayo 2014)⁷

⁵ Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Fondo Editorial del Ministerio del Ambiente. Primera edición. Junio 2010.

⁶ Protocolo de Kyoto.1998.

⁷ Debate sobre Cambio Climático: generando la voluntad de actuar, realizada el 07 de mayo de 2014 en Londres, Inglaterra.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

ESFUERZOS EMPRESARIALES EN EL SECTOR CEMENTOS

Por decisión voluntaria un grupo de empresas importantes de la industria del cemento constituyeron una “Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento”⁸, y trabajando con el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD por su sigla en inglés World Business Council for Sustainable Development), establecieron su Agenda de Acción para el desarrollo sostenible basada en tres razones:

- Prepararse para un futuro más sostenible empleando los recursos naturales y energéticos de manera más eficiente, y participando en aspectos locales en los mercados emergentes.
- Satisfacer las expectativas de las audiencias de interés y conservar su ‘licencia para operar’ en las comunidades alrededor del mundo, a través de una mayor transparencia de operaciones, participación efectiva con la sociedad, así como también iniciativas de acción que conduzcan a cambios positivos sostenibles.
- Comprender y crear nuevas oportunidades de mercado de manera individual, por medio de innovaciones de procesos que logren una mayor eficiencia de recursos/energía y ahorros en costos a largo plazo; innovaciones de productos y servicios para reducir los impactos ambientales; y colaborar con otras industrias en investigación de usos novedosos de subproductos y materiales de desecho en el proceso de producción del cemento.

Para desarrollar las acciones tendientes a lograr la sostenibilidad de su producto, las empresas cementeras que conformaron la Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento, trabajaron seis áreas claves en las que consideraban que contribuirían significativamente al logro de una sociedad más sostenible: protección del clima, combustibles y materias primas, salud y seguridad de empleados, reducción de emisiones, impactos locales y procesos empresariales internos.

⁸ La Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento, “Nuestra Agenda de Acción”. Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD). Julio 2002.

De las seis áreas de base de la Agenda de Acción, existen tres de ellas resaltadas que se enmarcan como lineamientos para la lucha contra el Cambio Climático, donde se establecen programa de trabajo para la Sostenibilidad del Cemento para los próximos años.

Tabla 2. Resumen de agenda de acción para la sostenibilidad del cemento

Proyectos Conjuntos	Acciones individuales específicas de cada empresa
PROTECCIÓN DEL CLIMA	
* Desarrollar un protocolo de dióxido de carbono (CO ₂) para la industria del cemento. (Proyecto entregado.)	* Usar las herramientas establecidas en el protocolo de CO ₂ para definir y publicar sus emisiones base.
* Trabajar con el WBCSD/Instituto Mundial de Recursos (WRI) y otras organizaciones para investigar las políticas públicas y mecanismos de mercado para la reducción de emisiones de CO ₂ .	* Desarrollar una estrategia de mitigación del cambio climático, y publicar las metas y avances para el 2006. * Elaborar un reporte anual sobre las emisiones de CO ₂ de acuerdo al protocolo.
COMBUSTIBLES Y MATERIAS PRIMAS	
* Desarrollar un conjunto de lineamientos para el uso responsable de combustibles y materias primas convencionales y alternativas en los hornos de cemento.	* Aplicar los lineamientos desarrollados para el empleo de combustible y materias primas.
REDUCCIÓN DE EMISIONES	
* Desarrollar un protocolo de la industria para la medición, monitoreo y reporte de emisiones, y encontrar soluciones para la fácil evaluación de emisiones de sustancias como dioxinas y compuestos orgánicos volátiles (VOCs).	* Aplicar el protocolo de medición, monitoreo y reporte de emisiones.
	* Disponer de un acceso público a los datos de emisiones para las audiencias de interés para el año 2006.
	* Fijar metas para emisiones de materiales relevantes y hacer público el reporte de los avances.

Fuente: La Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento, "Nuestra Agenda de Acción". Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD).

La Federación Interamericana de Cemento - FICEM - en su informe de gestión⁹ al año 2013 consigna como uno de los temas clave a trabajar “La Protección del clima”, debido a la industria del cemento es responsable de cerca del 5% del total de las emisiones de CO₂ generadas por el hombre. Por esta razón, la protección del clima siempre ha sido una de las principales prioridades de la agenda de la Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento (CSI).

La FICEM es uno de los 14 aliados en comunicaciones que CSI tiene en el mundo. Como consecuencia de ello, la federación estableció en el año 2009 un convenio con ésta organización para promover la vinculación de empresas en Latinoamérica a la base de datos GNR (Getting the Numbers Right), la cual registra información sobre el desempeño en emisiones de CO₂ y consumo de energía de la industria global del cemento.

De acuerdo a cifras publicadas en la Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático¹⁰, el sector de la construcción en el Perú mostraba cifras significativas en el PBI nacional. Dicho sector mostró un rápido crecimiento, duplicando su participación en el PBI entre 2005 y 2008, así en 2005 el sector creció en 8.4%, mientras que en 2008, el porcentaje casi se duplicó elevándose a un 16.5%, convirtiéndose en uno de los sectores líderes en el crecimiento nacional de ese entonces.

Según la misma fuente, durante el tercer trimestre del año 2009, la demanda inmobiliaria de Lima y Callao creció en 43.5% y las ventas llegaron a 2,624 millones de soles, lo que equivalía al 94.1% del monto total generado en el año 2008. Esta cifra revelaría no sólo un crecimiento de al menos 10% generado en el mercado peruano, sino también el potencial de crecimiento de ese sector.

⁹ Informe Estadístico 2013. Federación Interamericana de Cemento FICEM. Agosto 2013.

¹⁰ Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Fondo Editorial del Ministerio del Ambiente. Primera edición. Junio 2010.

De acuerdo al informe de proyección del Banco Scotiabank¹¹ respecto de los niveles de PBI nacional y la influencia de los sectores productivos, consigna en su reporte de octubre de 2013 que el crecimiento del sector construcción de los últimos años ha sido de 6.1% (2009), 17.4% (2010), 3% (2011) y 14.8% (2012), proyectando un crecimiento de 10.5% (2013) y 8.1% (2014), que implica la importancia del sector construcción en el PBI nacional.

Figura 3: PBI Nacional 2009-2014 – Reporte Oct-2013 Banco Scotiabank.

PBI SECTORIAL
(Var. % real)

	2009	2010	2011	2012	2013P	2014P
Agropecuario	2.3	4.6	4.2	5.3	3.2	3.3
Agrícola	0.9	4.9	3.2	5.4	3.2	3.0
Pecuario	4.4	4.3	5.6	5.1	3.3	3.8
Pesca	-7.9	-16.6	31.8	-11.9	-2.7	6.7
Minería e hidrocarburos	0.6	-0.7	0.1	2.2	6.1	7.6
Minería	-1.4	-4.8	-3.2	2.2	5.8	8.5
Hidrocarburos	16.1	29.5	18.1	2.3	7.1	4.0
Manufactura	-7.2	13.7	5.6	1.4	2.6	4.2
Primaria	0.0	-2.3	13.0	-6.5	2.3	3.8
No primaria	-8.5	16.9	4.4	2.8	2.7	4.3
Electricidad y agua	1.2	7.7	7.4	5.2	6.0	6.0
Construcción	6.1	17.4	3.0	14.8	10.5	8.1
Comercio	-0.4	9.7	8.8	6.7	6.1	6.0
Servicios	4.2	7.4	8.6	7.4	6.3	6.2
PBI	0.9	8.8	6.9	6.3	5.7	5.7
Sectores Primarios	1.0	1.2	4.6	2.0	3.9	4.9
Sectores No Primarios	0.8	10.3	7.4	7.1	6.1	6.0

(p): Proyección.

Fuente: Estudios Económicos - Scotiabank

Fuente: Perspectiva económica mundial y Perú 2014. Banco Scotiabank. Octubre 2013.

A pesar de su innegable aporte en el desarrollo nacional, cabe mencionar que la Asociación de Productores de Cemento del Perú (ASOCEM), no cuenta con lineamientos integrados para una estrategia de Desarrollo Sostenible que incluya la lucha contra el Cambio Climático. Algunos asociados han mejorado sus instalaciones y procesos, modernizando sus procesos para ampliar la capacidad de producción de clínker y cemento, con mejores tecnologías que le permiten mejorar sus ratios de eficiencia térmica y eléctrica en la fabricación de cemento¹².

¹¹ Perspectiva económica mundial y Perú 2014. Banco Scotiabank. Octubre 2013.

¹² La Industria de Cemento en el Perú: Favorables Perspectivas de Crecimiento en el Largo Plazo. Reporte Sectorial Banco Wiese Sudameris. Febrero 2005.

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO EN EL SECTOR CEMENTO

El proceso de fabricación de cemento es un proceso con un consumo intensivo de energía, debido fundamentalmente a las altas temperaturas que es necesario alcanzar para el correcto desarrollo del mismo. Los esfuerzos para reducir el consumo de combustible se han centrado en varias líneas como la modernización de las instalaciones utilizando hornos de mayor tamaño y eficiencia, cambio de combustible más amigable al medio ambiente, valoración energética de residuos, eficiencia energética y la modificación de la composición del cemento para incorporar en la molienda otros materiales distintos del clínker¹³.

Las emisiones asociadas a la producción de cemento se originan por un lado en la calcinación de los materiales carbonatados que se utilizan para producir clínker y por otro lado en la combustión del carbono que compone los combustibles utilizados en el piroprocesamiento del material. Los combustibles pueden clasificarse en fósiles o renovables, dependiendo del tipo de combustible que es utilizado¹⁴.

El alto consumo energético y los grandes volúmenes de emisiones de gases de invernadero se convierten en amenazas a la sostenibilidad de la producción de cemento en los próximos años. El sostenido incremento del precio de los combustibles fósiles a corto plazo, el previsible reforzamiento a escala global de las políticas impositivas a productos o producciones que contribuyan al calentamiento global, hará que el incremento de costos de la producción llegue a niveles prohibitivos para la industria. Se precisa entonces delinear estrategias para poder contribuir a resolver este problema a mediano plazo¹⁵.

¹³ Contribución de la Industria del Cemento a la Gestión de Residuos en Europa. Club Español de Residuos. España. Setiembre 2001.

¹⁴: Reducción de Emisiones en la Industria Cementera usando Madera Procedente de Plantaciones Dendroenergéticas. Aristizábal, J. y Luengas, C. Bocayá, Colombia. 2008.

¹⁵ Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clínker de cemento Pórtland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa. Dr. Fernando Martirena. CIDEM, Cuba. 2004.

UNACEM S.A.A.

UNACEM S.A.A. (hasta el año 2012 Cementos Lima), es una empresa que se dedica a la fabricación de cemento. La planta industrial se encuentra ubicada en la Av. Atocongo 2440, Villa María del Triunfo, Lima. UNACEM es propietaria de sus instalaciones de fábricas y locales aledaños, en el cual trabajan más de 400 trabajadores, entre funcionarios, administrativos, empleados y obreros.

UNACEM S.A.A. es una de las empresas de fabricación de cemento más antiguas en el Perú cuyos inicios datan del siglo pasado con la aparición de la Compañía Peruana de Cemento Portland hacia el año 1916.

Su planta en ese entonces se encontraba muy cerca del área de la ciudad de Lima denominada Maravillas, en la zona de Barrios Altos y utilizaba materia prima traída desde las Canteras de Atocongo - Villa María del Triunfo. El 28 de diciembre de 1967 se constituye la razón social "Cementos Lima S.A." e inicia la construcción de la fábrica en Atocongo y el 19 de septiembre de 1970 inauguró su planta, la que ha sido objeto de sucesivas modernizaciones.

En el año 2006, la empresa decide emprender el proyecto de sustitución parcial de carbón por gas natural, que le ha permitido reducir los niveles de emisión de gases de efecto invernadero. Este proyecto se encuentra calificado dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio por la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas.

En el año 1998, paralelo a la Línea 1 de producción cuya capacidad es de 3500 t/día de clínker, la empresa instaló un nuevo horno a través de la Línea 2 de producción, con un moderno horno, precalentadores precalcinadores, ducto de aire terciario y equipos de control y mando de sus operaciones, con una capacidad de producción de 7500 t/día de clínker.

En el año 2010, la empresa decide llevar a cabo el proyecto de Modernización de la Línea 1 de producción de los años 70, a fin de ampliar su capacidad de producción a 7500 t/día, dicho proyecto culminó de implementarse en julio 2013, donde han mejorado las eficiencias térmicas, eléctricas y de consumo de agua por tonelada de cemento producido.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La industria del cemento es uno de los sectores productivos que genera mayores emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), debido al consumo intensivo de energía térmica que proviene de la quema de combustible (carbón principalmente) y al proceso de descarbonatación y calcinación de la caliza en la fabricación de clínker, el producto intermedio en la fabricación del cemento. Además, el uso de clínker como principal componente del cemento (>95%), ocasiona que esta industria considere la implementación de mejoras en sus procesos y la disminución de uso de clínker en la fabricación de cemento, con la finalidad de reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

En el Perú, dicho sector no cuenta con un inventario sobre la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por la fabricación de cemento, situación que le permitiría conocer la línea de base ambiental y su posible contribución al mejoramiento de la calidad ambiental por las mejoras de sus procesos.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente de trabajo de Investigación contribuirá a promover alternativas de reducción de emisiones de efecto invernadero en los procesos productivos, especialmente en aquellos sectores que tienen un uso intensivo de energéticos como la industria del cemento, mediante la utilización de materiales reciclados, cambio de combustibles, uso de subproductos o de valoración energética.

1.5 OBJETIVOS

Objetivo General. Determinar la cantidad de reducción de emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) por cambio combustible y uso de materiales en reemplazo de clínker en la fabricación de cemento.

Objetivos Específicos. Se considera los siguientes:

- Determinar la tasa de emisión de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) por tonelada de clínker producido en los hornos de una planta cementera nacional antes y después de la implementación de cambio de combustible.

- Determinar la tasa de emisión de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) por tonelada de cemento tradicional y cemento adicionado producido en una planta cementera nacional.
- Determinar la reducción (% , t/año) de emisión de dióxido de carbono (CO_2e) equivalente por la fabricación de cemento, luego de la implementación de cambio de combustible de carbón a gas natural y la producción de cementos adicionados.

1.6 HIPÓTESIS

El uso de combustibles con menor cantidad de carbón fijo y de materiales y/o residuos en reemplazo de clínker en la fabricación de cemento, permitiría la reducción de gases de efecto invernadero debido a cambio de combustibles más amigables al medio ambiente y a la disminución de la cantidad de clínker utilizado en la fabricación de cemento.

1.7 VARIABLES E INDICADORES

Las variables utilizadas en el presente trabajo de investigación son:

Variables Independientes.

- La cantidad de los tipos de combustibles usados en la fabricación de clínker.
- La cantidad de clínker y materiales de adición usados en la fabricación de cada tipo de cemento.

Variables Dependientes.

- Reducción de emisiones de dióxido de carbono equivalente por tonelada de clínker producido.
- Reducción de emisiones de dióxido de carbono equivalente por tonelada de cemento elaborado.

1.8 UNIDAD DE ANÁLISIS

El análisis está basado en la reducción de dióxido de carbono $\text{CO}_{2\text{eq}}$, como gas de referencia de efecto invernadero, medido en unidad de masa con relación a unidad de masa de clínker o cemento producido.

1.9 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Debido a la naturaleza y dimensión de la actividad cementera estudiada, que produce miles de toneladas de clínker y cementos diariamente en función de la demanda del mercado nacional, no era factible operacionalmente ni económicamente programar pruebas de producción especiales para fines del estudio, con los diversos tipos de clínker y cementos que se fabrican en la planta industrial de la empresa UNACEM S.A.A. (antes Cementos Lima).

Se ha calculado y evaluado el comportamiento de la variable dependiente referido a consumos de combustibles, producción de clínker y materiales de adición, a fin de determinar la *“Reducción de emisiones de dióxido de carbono equivalente por cada tonelada de clínker y cemento producido”*, esta determinación se basa en dos aspectos, el primero, cambio de combustible de carbón a gas natural en el proceso de fabricación de clínker (calcinación), y el segundo, elaboración de cemento con adiciones de materiales que reemplacen al clínker. Por tanto, el método seguido en la investigación de la tesis ha sido Diseño no Experimental de Tipo Descriptivo.

1.10 PERÍODO DE ANÁLISIS

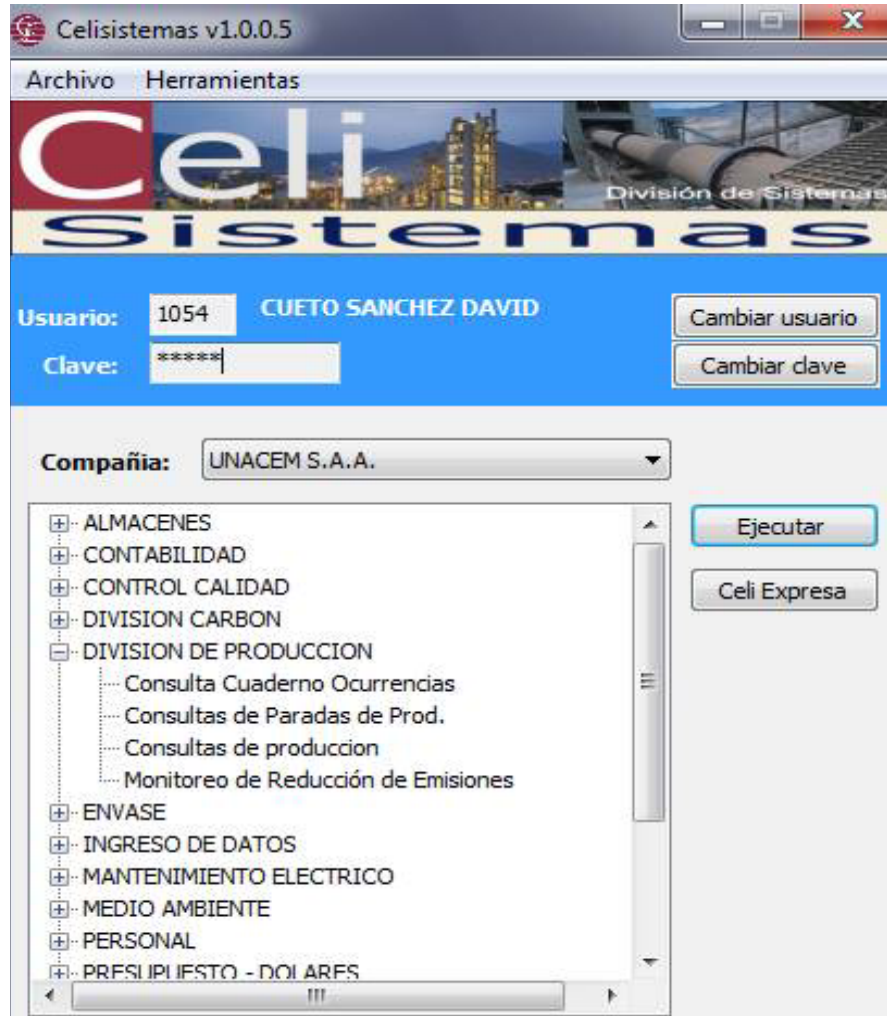
Se ha recopilado información de producción real por cada tipo de clínker y cemento, los consumos de combustibles, de materias primas entre otros, de los períodos comprendido entre los años 2005 y 2012 correspondientes a la fabricación de clínker; y de los años 2004 y 2012 para el caso de la elaboración de cementos.

1.11 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para obtener información de campo se realizó visitas conjuntas a la Planta Industrial y se entrevistó a los encargados de la fabricación de cemento, del proyecto de sustitución parcial de carbón por gas natural, y otras áreas afines, con la finalidad de recopilar información estadística mensual de la producción de cada tipo de clínker y cemento, consumos mensuales de combustibles, de materias primas y otros de importancia como el desarrollo del proyecto calificado dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio, la metodología aplicada y validada por la Convención Marco de las Naciones Unidas.

La información fue obtenida de varias fuentes internas de la empresa cementera, entre ellas del sistema de base de datos denominado “Celisistemas”.

Figura 4 Pantalla Inicial Sistema de Base de Datos “Celisistemas”.



Fuente: Sistema de Base de Datos Celisistemas – UNACEM.

Figura 5 Ejemplo de datos de producción obtenido de Celisistemas

UNACEM S.A.A. - Consultas de producción - 2014

Registro Edición Ventana Ayuda

Consumo mensual de producción

Reporte por:
 Mensual
 Periodo

Mes: Año:
 F. Inicio: F. Fin:

Circuito Productivo

- Chancado Primario
- Chancadora Hischmann
- Chancadora Pensylvania
- Aplamiento
- Recuperación
- Molino Crudo
- Prensa de crudo 1
- Prensa de crudo 2
- Prensa de crudo 3
- Prensa de crudo 4
- Calcinación línea 1
- HORNO ROTATIVO I
 - Clinker I
 - Polvo de Filtro
 - Clinker II
 - Clinker V
 - Clinker I BA
- Calcinación línea 2
- Prensa de clinker 1
- Prensa de clinker 2
- Prensa de clinker 3
- Prensa de clinker 4
- Molino Swing
- Molino Cemento
- Muelle de Conchan
- Molino Cemento
- Envasadora Rotativa 1
- Envasadora Rotativa 2
- Envase Granel Silo 1
- Envase Granel Silo 5
- Envase Granel Silo 7
- Envase Granel Silo 3
- Envasadora Rotativa Automatica 3
- Envasadora Rotativa Automatica 4
- Envasadora Rotativa Automatica 5
- Envasadora Rotativa Automatica 7
- Faja Tubular Atocongo - Conchan
- Despacho Granel Multisilo 1
- Despacho Granel Multisilo 2
- Despacho Granel Multisilo 3
- Despacho Granel Multisilo 4
- Balanza Granel Atlas
- Faja Tubular Atocongo - Conchan
- Muelle de Conchan
- 1. Recepción/Apilado de Carbón
- 2. Recuperación de Carbón

Consumo | Gráfico de Producción

Fecha	Horas	Crudo I	Total	Producción TM	Factor Prod.	TM/Hr	% Crudo I	% Total	Carbon (Consumo)	Gas Natural	Bunker (Calent.)	Kcal Petroleo	Kcal Carbon	Kcal Gas Natura	Kcal Pet	
01/04/2012	22:49	4,731.00	4,731.00	2,735.00	1.73	120	100.00	100.00	106.01	191,442.00	0.00	0.00	5,941.00	8.70		
02/04/2012	24:00	5,518.00	5,518.00	3,190.00	1.73	133	100.00	100.00	113.42	240,658.00	0.00	0.00	5,917.00	8.70		
03/04/2012	24:00	5,494.00	5,494.00	3,176.00	1.73	132	100.00	100.00	109.18	216,729.00	0.00	0.00	6,194.00	8.70		
04/04/2012	24:00	5,588.00	5,588.00	3,230.00	1.73	135	100.00	100.00	112.36	254,687.00	0.00	0.00	6,020.00	8.70		
05/04/2012	24:00	5,632.00	5,632.00	3,255.00	1.73	136	100.00	100.00	109.18	235,805.00	0.00	0.00	6,035.00	8.70		
06/04/2012	24:00	5,447.00	5,447.00	3,149.00	1.73	131	100.00	100.00	97.52	229,358.00	0.00	0.00	6,006.00	8.70		
07/04/2012	24:00	5,402.00	5,402.00	3,123.00	1.73	130	100.00	100.00	122.96	220,081.00	0.00	0.00	5,820.00	8.70		
08/04/2012	24:00	5,293.00	5,293.00	3,060.00	1.73	128	100.00	100.00	152.64	202,476.00	0.00	0.00	5,929.00	8.70		
09/04/2012	24:00	5,557.00	5,557.00	3,212.00	1.73	134	100.00	100.00	161.12	212,264.00	0.00	0.00	5,874.00	8.70		
10/04/2012	24:00	5,592.00	5,592.00	3,232.00	1.73	135	100.00	100.00	159.00	208,300.00	0.00	0.00	5,858.00	8.70		
11/04/2012	24:00	5,562.00	5,562.00	3,215.00	1.73	134	100.00	100.00	162.18	208,412.00	0.00	0.00	5,906.00	8.70		
12/04/2012	24:00	5,579.00	5,579.00	3,225.00	1.73	134	100.00	100.00	153.70	207,677.00	0.00	0.00	5,954.00	8.70		
13/04/2012	24:00	5,617.00	5,617.00	3,247.00	1.73	135	100.00	100.00	155.82	217,210.00	0.00	0.00	6,077.00	8.70		
14/04/2012	24:00	5,631.00	5,631.00	3,255.00	1.73	136	100.00	100.00	157.94	204,366.00	0.00	0.00	5,876.00	8.70		
15/04/2012	24:00	5,495.00	5,495.00	3,176.00	1.73	132	100.00	100.00	155.82	208,555.00	0.00	0.00	6,113.00	8.70		
16/04/2012	24:00	5,237.00	5,237.00	3,027.00	1.73	126	100.00	100.00	134.62	201,608.00	0.00	0.00	6,168.00	8.70		
17/04/2012	24:00	5,537.00	5,537.00	3,201.00	1.73	133	100.00	100.00	150.52	212,091.00	0.00	0.00	5,971.00	8.70		
18/04/2012	24:00	5,455.00	5,455.00	3,153.00	1.73	131	100.00	100.00	134.62	226,160.00	0.00	0.00	6,028.00	8.70		
19/04/2012	24:00	5,605.00	5,605.00	3,240.00	1.73	135	100.00	100.00	129.32	225,690.00	0.00	0.00	6,086.00	8.70		
20/04/2012	24:00	5,484.00	5,484.00	3,170.00	1.73	132	100.00	100.00	103.88	243,335.00	0.00	0.00	5,964.00	8.70		
21/04/2012	24:00	5,601.00	5,601.00	3,238.00	1.73	135	100.00	100.00	102.82	241,384.00	0.00	0.00	6,104.00	8.70		
22/04/2012	24:00	5,491.00	5,491.00	3,174.00	1.73	132	100.00	100.00	99.64	237,310.00	0.00	0.00	5,984.00	8.70		
23/04/2012	24:00	5,553.00	5,553.00	3,210.00	1.73	134	100.00	100.00	110.24	242,099.00	0.00	0.00	6,013.00	8.70		
24/04/2012	24:00	5,508.00	5,508.00	3,184.00	1.73	133	100.00	100.00	112.36	235,928.00	0.00	0.00	5,969.00	8.70		
25/04/2012	23:22	5,018.00	5,018.00	2,901.00	1.73	124	100.00	100.00	115.54	217,414.00	0.00	0.00	6,106.00	8.70		
26/04/2012	24:00	5,528.00	5,528.00	3,195.00	1.73	133	100.00	100.00	117.66	228,612.00	0.00	0.00	6,069.00	8.70		
27/04/2012	15:39	3,284.00	3,284.00	1,898.00	1.73	121	100.00	100.00	81.62	137,269.00	0.00	0.00	6,112.00	8.70		
30/04/2012	00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	9,500.00	9,500.00	9,500.00	0.00	
		637:50	145,439.00	145,439.00	84,071.00	1.73	100.00	100.00	3,421.69	5,907,520.00	6.00	9,500.00	9,500.00	9,500.00	9,500.00	

ES 05:11 p.m. 22/03/2014

También se coordinó con las jefaturas de otras áreas como la División de Control de Calidad y Mantenimiento para obtener información estadística de las características del gas natural como la densidad y poder calorífico inferior (PCI) que remite el proveedor de gas natural trimestralmente a sus clientes, y de los otros combustibles como el carbón nacional, carbón importado y pet coke, donde la División de Control de Calidad realiza los análisis y cálculos del PCI en su laboratorio.

Otra parte importante de la información que se obtuvo en las entrevistas fue la del proyecto de “Sustitución parcial de carbón por gas natural” referido al Documento de Diseño de Proyecto (PDD por sus siglas en inglés) y la Metodología aprobada por las Naciones Unidas, ambos documentos sirven de línea de base para el cálculo de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por cada tonelada de clínker y cemento producido en la Planta Industrial de Atocongo.

1.12 PROCESAMIENTO DE DATOS

Como métodos para el procesamiento de información y cálculo de la variable dependiente “*Reducción de emisiones de dióxido de carbono equivalente por cada tonelada de clínker y cemento producido*” se utilizaron las normas internacionales.

Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero – Cálculo de CO₂ por Descarbonatación.

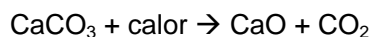
Tomando como referencia las siguientes consideraciones:

El Programa de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (National Greenhouse Gas Inventories Programme) como dependencia de apoyo técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), preparó y encargó al Instituto para las Estrategias Ambientales Globales, (IGES, del inglés Institute for Global Environmental Strategies), la publicación de las “Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero”.

Es así que se publicó las Directrices del IPCC de 2006, en donde consigna en el volumen 3, capítulo 2 del mencionado documento el tema denominado “Emisiones de la Industria de los Minerales”, en el cual se describen las metodologías para estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el uso de una variedad de productos minerales industriales.

Tal como se menciona en el documento existen dos grandes vías para la liberación de CO₂ a partir de los carbonatos: la calcinación y la liberación de CO₂ inducida por ácidos; las cuales son ejemplificadas a través de las reacciones siguientes:

Ecuación 1: Reacción de calcinación:



Ecuación 2: Reacción de liberación de CO₂ inducida por ácidos:



La primera reacción corresponde a la calcinación del carbonato de calcio (mineral de calcita) durante la cual se forma óxido de calcio mediante la aplicación de calor; siendo la calcinación de compuestos carbonatados el principal proceso que conduce a la liberación de CO₂.

La segunda reacción ocurre en diversas industrias, pero generalmente como resultado de la presencia de pequeñas cantidades de carbonatos, en calidad de impurezas, en procesos de acidificación para concentrar materiales no carbonatados; como por ejemplo en el tratamiento de los minerales de fosfato con ácido sulfúrico para producir ácido fosfórico, en el cual el concentrado de fosfato que ha de ser acidificado puede contener un pequeño porcentaje de minerales carbonatados, pero en general, la cantidad de CO₂ liberada por acidificación de estas impurezas carbonatadas es pequeña.

Dentro de la categoría de la industria de los minerales no metálicos, el proceso principal a través del cual se liberan emisiones de CO₂ por calcinación de materiales carbonatados es similar; sin embargo, debido a que las contribuciones a las emisiones mundiales son relativamente importantes en la producción de cemento, de cal y de vidrio, el IPCC ha consignado en este capítulo su atención en estas actividades.

Es importante precisar, que las Directrices del IPCC de 2006 del volumen 3 consideran solo las emisiones relacionadas con procesos y no las emisiones relacionadas con la energía, pues como inventario deben estar contabilizadas en el Sector Energía y en la presente tesis constituyen condiciones *ceteris paribus* pues se mantienen constantes todas las variables relacionadas con la generación de energía.

La finalidad es estudiar la influencia en la disminución (o aumento) en la generación de CO₂ debido al reemplazo de carbón por gas natural como parte del combustible y al uso de materiales de adición en reemplazo de clínker en la fabricación de cemento.

Según la metodología del IPCC en el cálculo de las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de combustible para la fabricación del cemento, debe considerarse la combustión, tanto de combustibles fósiles como de los combustibles de desecho (por ejemplo neumáticos, óleos de desecho, pinturas, etc.); sin embargo en la planta industrial de Atocongo de la empresa UNACEM S.A.A., éstos últimos no son utilizados.

En el proceso de fabricación de clínker, se calienta o calcina a 1450 °C aproximadamente la piedra caliza, que está compuesta esencialmente de carbonato de calcio (CaCO₃), generando óxido de calcio (CaO) y CO₂ como productos derivados.

El CaO reacciona durante el proceso de calcinación con la Sílice (SiO₂), la alúmina (Al₂O₃), y el óxido de hierro (Fe₂O₃) presentes en las materias primas, para formar silicatos de calcio que son los minerales principales de clínker.

La presencia de otros carbonatos diferentes del CaCO_3 en las materias primas es en general muy pequeña proporcionalmente, si aparecen, se presenta esencialmente como impurezas en la materia prima de la piedra caliza primaria. En el proceso de fabricación de clínker es deseable que la caliza tenga una pequeña cantidad de óxido de magnesio (MgO) generalmente, entre 1 y 2 por ciento, pues actúa como fundente.

En la fabricación de clínker puede generarse polvo de horno de cemento (CKD, del inglés Cement Kiln Dust), que es recabada por los sistemas de captación de partículas como filtros de mangas y/o precipitadores electrostáticos (electrofiltros), donde el CKD puede retornar al proceso o puede almacenarse para su venta posterior para el sector construcción; en base al manejo que se le brinde al CKD (reproceso o venta).

Las emisiones de CO_2 asociadas a éste CKD son estimadas de acuerdo a lo establecido por las directrices del IPCC de 2006 respecto de los métodos de nivel (1,2 y3) para la estimación de emisiones de CO_2 en la producción de cemento.

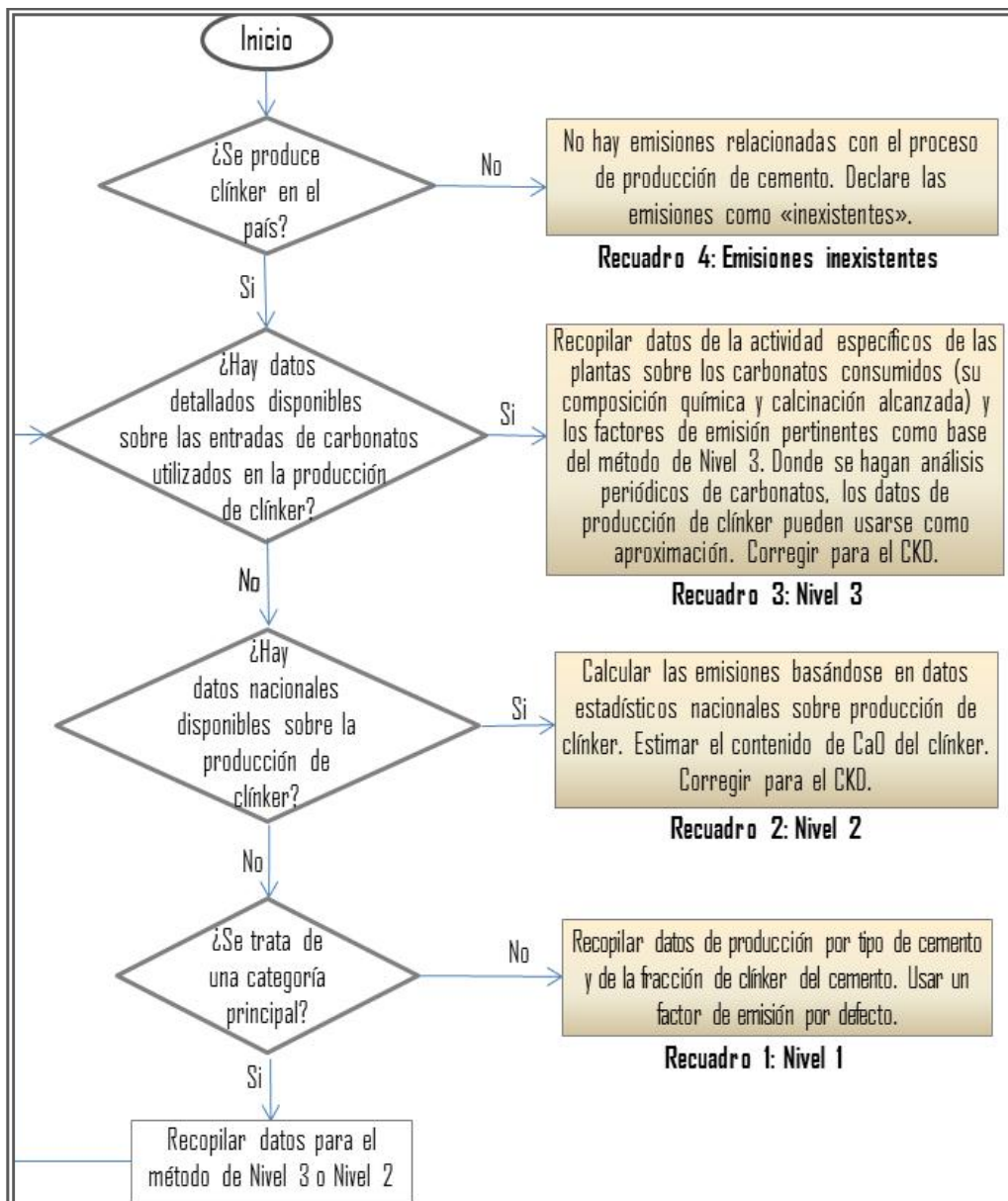
Selección del método para las estimaciones de CO_2 en la producción de cemento

Para tener un panorama gráfico en la selección del método, se muestra el árbol de decisión de la figura 6 donde se describe el procedimiento para escoger el método de nivel más apropiado para determinar las emisiones de CO_2 , de acuerdo a la información que cuenta cada planta industrial, región o país.

Conforme a la figura 6 se tiene tres métodos de nivel:

- Nivel 1: Emisiones basadas en los datos de la producción de cemento.
- Nivel 2: Emisiones basadas en los datos sobre producción de clínker.
- Nivel 3: Emisiones basadas en datos sobre las entradas al horno de materias primas carbonatadas.

Figura 6: Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ de la producción de cemento.



Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

De las Directrices del IPCC de 2006 Volumen 3 Capítulo 2, punto 2.2.1 Cuestiones metodológicas, se describe líneas abajo un resumen de los métodos de nivel:

En el *método de Nivel 1, estimación de la producción de clínker a través de los datos de producción de cemento*, las emisiones se basan en las estimaciones de producción de clínker inferidas de los datos de producción de cemento, y se corrigen en función de las exportaciones e importaciones de clínker.

Ecuación 3: *Nivel 1: Emisiones basadas en la producción de cemento.*

$$\text{Emisiones CO}_2 = [\sum (M_{ci} \times C_{cli}) - Im + Ex] \times EF_{clc}$$

Dónde:

Emisiones CO₂ = emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cemento, (t)

M_{ci} = peso (masa) de cemento producido de tipo i, toneladas

C_{cli} = fracción de clínker del cemento de tipo i, fracción

Im = importaciones para el consumo de clínker, toneladas

Ex = exportaciones de clínker, toneladas

EF_{clc} = factor de emisión del clínker en el cemento en particular, toneladas de CO₂/toneladas de clínker.

El factor de emisión por defecto del clínker (EF_{clc}) está corregido para el CKD.

La estimación directa de las emisiones a partir de la producción de cemento, sin estimar primero la producción de clínker y aplicando directamente un factor de emisión a la producción de cemento, no se considera una buena práctica pues no considera las importaciones y exportaciones de clínker.

En el *método de Nivel 2, utilización de los datos sobre producción de clínker*, las emisiones se estiman directamente de los datos sobre la producción de clínker en lugar de estimarse de la producción de clínker inferida de la producción de cemento, y de un factor de emisión, ya sea nacional o por defecto.

Ecuación 4: *Nivel 2: Emisiones basadas en los datos sobre producción de clínker.*

$$\text{Emisiones CO}_2 = M_{cl} \times EF_{cl} \times CF_{ckd}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cemento, toneladas

M_{cl} = peso (masa) de la cal producida, toneladas

EF_{cl} = factor de emisión para el clínker, toneladas de CO_2 /toneladas de clínker

Este factor de emisión del clínker (EF_{cl}) no está corregido para el CKD

CF_{ckd} = factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión.

Este método de Nivel 2 se basa en las siguientes hipótesis en relación con la industria del cemento y con la producción de clínker:

- La mayor parte del cemento hidráulico es cemento portland o un cemento similar que requiere clínker de cemento portland;
- En la composición del clínker, la proporción de CaO varía dentro de un intervalo muy limitado y el contenido de MgO se mantiene muy bajo;
- En general, las plantas son capaces de controlar el contenido de CaO en las entradas de materias primas y de clínker dentro de un intervalo estrecho de tolerancia;
- Aun cuando la salida de clínker se calcula en vez de medirla directamente en la planta, a la hora de los controles de auditoría ambos métodos de determinación arrojan resultados concordantes;
- Para una planta en particular, el contenido de CaO del clínker tiende a no variar significativamente a través de los años;
- Para la mayoría de las plantas, la fuente principal de CaO es el $CaCO_3$ y toda otra fuente de CaO cuyo origen no sean los carbonatos, está debidamente cuantificada, por lo menos al nivel de la planta.;
- Para las entradas de carbonatos usados en la fabricación de clínker se alcanza un factor de calcinación del 100 por ciento (o muy cercano), incluidos (normalmente en menor escala) los materiales perdidos para el sistema como CKD no reciclado; y
- Los colectores de polvo de las plantas capturan casi la totalidad del CKD, aunque éste no necesariamente se recicle hacia el horno.

El método de Nivel 3, utilización de los datos sobre entradas de carbonatos, consiste en un cálculo basado en los pesos y en la composición de todas las entradas de carbonatos que se aplica a todas las fuentes de materias

primas y de combustibles, al (o a los) factores de emisión para el (o los) carbonatos y a la fracción de calcinación alcanzada.

Ecuación 5: Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas al horno de materias primas carbonatadas.

$$\text{Emisiones CO}_2 = \underbrace{\sum_i (EF_i \times M_i \times F_i)}_{\text{Emisiones de los carbonatos}} - \underbrace{M_d \times C_d \times (1 - F_d) \times EF_d}_{\text{Emisiones de CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno}} + \underbrace{\sum_k (M_k \times X_k \times EF_k)}_{\text{Emisiones de materiales no combustibles que contienen carbono}}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cemento, toneladas

EF_i = factor de emisión para el carbonato en particular *i*, toneladas de CO₂/toneladas de carbonato

M_i = peso o masa del carbonato *i* consumido en el horno, toneladas

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato *i*, fracción

M_d = peso o masa del CKD no reciclado hacia el horno (=CKD "perdido"), toneladas

C_d = fracción del peso de carbonato original en el CKD no reciclado hacia el horno, fracción

F_d = fracción de calcinación alcanzada para el CKD no reciclado hacia el horno, fracción

EF_d = factor de emisión para el carbonato no calcinado contenido en el CKD que no es reciclado hacia el horno, toneladas de CO₂/toneladas de carbonato

M_k = peso o masa de la materia orgánica *k*, u otra materia prima no combustible que contiene carbono, toneladas

X_k = fracción del total de materia orgánica u otro carbono en la materia no combustible específica *k*, fracción

EF_k = factor de emisión para la materia prima no combustible *k*, que contiene kerógeno (u otro carbono), toneladas de CO₂/toneladas de carbonato

En el nivel 2 y en el nivel 3 se debe incluir una corrección para el CKD, en el nivel 2 una corrección aditiva y para las emisiones asociadas con el CKD que no es reciclado hacia el horno y en el Nivel 3, las emisiones atribuidas al CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno deben restarse de la estimación del total de las emisiones.

Metodología ACM0003 – Reducción de emisiones por sustitución parcial de combustible fósil con combustibles alternativos o combustibles con menor contenido de carbono en la fabricación de cemento.

El Convenio Marco de Las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) validó la metodología ACM0003 en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por cambio o sustitución parcial de carbón por combustibles más amigables ambientalmente en la fabricación de cemento.

Esta metodología ACM0003 versión 7 fue incluido en el Documento de Diseño de Proyecto (PDD) sobre “Cambio de combustible en la Planta de Cemento Atocongo y extensión de tubería de gas”, calificado por las Naciones Unidas como proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Siguiendo la metodología se establece como línea base del proyecto los años 2003-2005, se determina el valor promedio del factor de emisión en toneladas de dióxido de carbono por cada gigajoule ($t\ CO_2/GJ$) y el poder calorífico neto (GJ/t). Para el año base se utiliza la información de consumos de combustibles y factores de emisión obtenidas de tablas del IPCC. Para conocer la tendencia de los niveles de concentración de CO_2 desde la implementación del proyecto de uso de gas natural se realiza cálculos a partir de la información de consumo de combustible, incluyendo el gas natural, conjuntamente con el poder calorífico neto de cada combustible, la densidad del gas natural, factores de emisión de CO_2 por energía entregada al proceso de fabricación de clínker, entre otros.

A partir del dato de Poder Calorífico Inferior (PCI) del gas metano, componente del gas natural, y de los factores de emisión por energía entregada al proceso, se determina la cantidad de CO_2 que debe descontarse (penalizar), en caso de fuga de gas metano.

La metodología ACM0003.V7 está desarrollada con mayor detalle en el capítulo III Desarrollo del trabajo de tesis.

CAPITULO II

2.1 MARCO TEORICO Y MARCO CONCEPTUAL

EMISIONES

Emisión es la liberación de contaminantes de partículas sólidas, líquidas o gaseosas al medio, procedentes de una fuente generadora. El nivel de emisión de una fuente se mide por las cantidades emitidas por unidad de tiempo, por ejemplo, toneladas/año, kilogramos/hora; asimismo, las concentraciones de emisión pueden ser reportadas en unidades peso/volumen, como microgramos/metro cúbico, tonelada/metro cúbico, kilogramo/decímetro cúbico, entre otras.

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: la naturaleza y las antropogénicas. Los contaminantes emitidos por las fuentes del primer tipo tienen su origen en procesos naturales, mientras que los emitidos por el segundo tipo de fuentes provienen de las actividades humanas. Los principales focos naturales son los volcanes, los incendios forestales y la descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos.

Emisiones de partículas

Las emisiones de partículas son sustancias sólidas o líquidas que pueden ser visibles o invisibles. Las partículas afectan la visibilidad y pueden ser transportadas por el viento a grandes distancias. Las partículas pequeñas de diámetro menor o igual a $10\mu\text{m}$ (PM_{10}), son particularmente peligrosas para la salud humana porque su pequeño tamaño hace posible que pasen a través de los vellos de las fosas nasales y lleguen al interior de los pulmones.

Las partículas de aproximadamente $10\mu\text{m}$ son retenidas en nuestras narices y gargantas, una cantidad muy pequeña llega a la tráquea o los bronquios. Las partículas con tamaño en el rango de 5 a $10\mu\text{m}$ son retenidas en su mayor parte en la tráquea o los bronquios y no alcanzan los pulmones. Con frecuencia son llamadas partículas respirables a aquellas más pequeñas con aproximadamente $3,5\mu\text{m}$.

Emisiones gaseosas

Los contaminantes gaseosos más comunes son:

El dióxido de carbono (CO_2) es un gas incoloro e inodoro a bajas concentraciones, pues a mayores concentraciones tiene olor ácido; existe en la naturaleza pero su origen antropogénico proviene del consumo de combustibles fósiles para la producción de energía y de la quema de biomasa por el cambio de uso del suelo (deforestación). El ciclo del carbono es complejo ya que algunas emisiones se absorben rápidamente, pero otras permanecen en la atmósfera por cientos de años.

El metano (CH_4) es un gas incoloro e inodoro que se origina en la producción, extracción y manipulación de combustibles fósiles (pérdida por venteo de pozos de petróleo, escapes de gas natural y minas de carbón al aire libre), de las actividades agropecuarias (cultivos de arroz, aprovechamiento del ganado, suelos agrícolas, en menor medida quema de sabanas, quema de residuos agrícolas, fermentación entérica del ganado, entre otros) y de la descomposición de los residuos.

Los óxidos de azufre (SO_x), son gases acres, corrosivos y tóxicos que son producidos cuando se quema algún combustible que contiene azufre. Las plantas de energía que queman carbón producen alrededor de 60% del SO_x total que hay en la atmósfera, las que queman petróleo, alrededor del 14% y los procesos industriales aproximadamente el 22%.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro y venenoso, que se produce por la combustión incompleta del carbono de los combustibles. Aproximadamente dos terceras partes de CO de la atmósfera es producido por los motores de combustión interna, en cantidad abrumadora por los vehículos de motor a gasolina.

El nombre óxidos de nitrógeno (NO_x) se aplica a varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. Se producen cuando el combustible se quema a temperaturas muy altas. Las fuentes estacionarias producen aproximadamente el 49% de los NO_x de la atmósfera, los vehículos de motor el 39% y otras fuentes el 12%. Bajo la influencia de la luz solar los NO_x se combinan con los hidrocarburos gaseosos para formar oxidantes fotoquímicos, principalmente ozono (O_3).

Los hidrocarburos se producen a partir de combustible no quemado y desperdiciado. Los hidrocarburos son importantes por su papel en la formación de smog fotoquímico. Los compuestos más reactivos, llamados compuestos orgánicos volátiles (volatile organic compounds, VOC) se producen por evaporación de los procesos industriales, especialmente la evaporación de disolventes de los procesos de pintura.

EMISIONES GASEOSAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Efecto Invernadero y Gases de Efecto Invernadero (GEI)

*La temperatura de nuestro planeta es perfecta para la vida, ni demasiado fría, como Venus, ni demasiado caliente, como Marte...*¹⁶

Una parte de la energía procedente del sol es capturada por la superficie terrestre y otra parte es reflejada hacia el exterior por los componentes atmosféricos o la propia superficie.

La atmósfera es prácticamente transparente, no absorbe radiación solar; sin embargo, la radiación emitida por la superficie terrestre sí que es absorbida y emitida, a su vez, por los componentes atmosféricos. Este fenómeno, llamado *efecto invernadero natural*, provoca un calentamiento de la atmósfera en sus capas bajas; y los gases que lo producen se denominan, comúnmente, "*gases de efecto invernadero*". Estos gases son el vapor de agua, dióxido de carbono, monóxido de nitrógeno, metano, ozono, óxido nitroso, (entre otros), y gran parte de ellos son componentes naturales de la atmósfera, por tanto, el efecto invernadero es un fenómeno natural gracias al cual es posible la vida en la Tierra.

El clima de la Tierra en realidad no es estático, pues, como consecuencia de alteraciones en el balance energético, el clima está sometido a variaciones en todas las escalas temporales, desde decenios a miles e incluso millones de años.

¹⁶ Portal planeta Sedna. Causas y efectos del Efecto Invernadero. Calentamiento Global. Problemas relacionados al medio ambiente. Setiembre 2010.

La diferencia fundamental entre estos cambios naturales que ha habido durante la historia y la evolución actual del sistema climático, no está tanto en los procesos y sus causas, sino en la *velocidad a la que se están produciendo* ciertas alteraciones en la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero y en el clima.

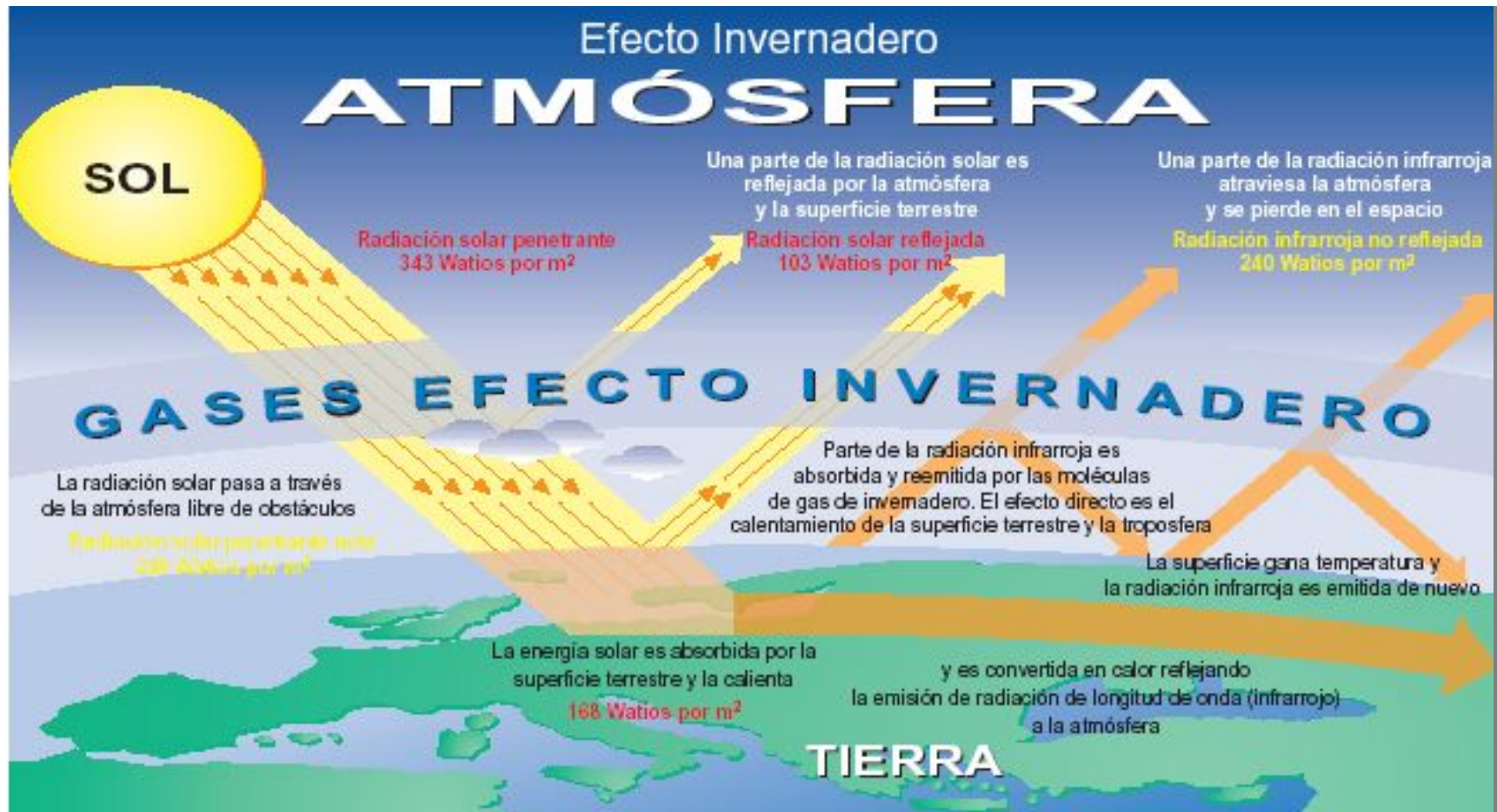
Para conocer el problema que supone el cambio climático es necesario conocer la relación que existe entre las emisiones (y la estabilización de sus concentraciones), con los largos períodos de tiempo necesarios para alterar, aunque sea ligeramente, la tendencia de dicho cambio.

El CO₂, es el gas con mayor influencia en las causas del cambio climático, luego se encuentra el metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃), clorofluorcarbonos (CFC) entre otros. Debido a la inercia del sistema climático la temperatura media mundial en la superficie y el nivel del mar seguiría aumentando durante algunos siglos e incluso milenios. Por lo tanto, la estabilización de la concentración de CO₂ en determinados niveles y período de tiempo no significaría que se acabase con los cambios provocados en el clima.

Aunque existe incertidumbre sobre lo expuesto, la información validada hasta ahora parecería ser suficiente como para tomar medidas.¹⁷.

¹⁷ De acuerdo al denominado "principio de precaución" al que hace referencia el Artículo 3º de la Convención Marco sobre Cambio Climático.

Figura 7: El Efecto Invernadero



Fuente: UNEP-GRID Arendal.

Cambios en el clima y sus efectos en el sistema climático¹⁸

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar.

Observaciones efectuadas en todos los continentes y en la mayoría de los océanos evidencian que numerosos sistemas naturales están siendo afectados por cambios del clima regional, particularmente por un aumento de la temperatura.

Existen signos que indican que los efectos del mencionado calentamiento ya estarían produciendo en nuestro planeta tales como deshielos de nevados, (gracias a los cuales muchos valles en el mundo tienen agua permanente durante todo el año), deshielo en zonas de los casquetes polares, (los que producirían incremento del nivel del mar ocasionando a su vez inundaciones de magnitud en los países que se encuentran a nivel del mar), calentamiento localizados (los cuales podrían romper el frágil equilibrio de los ecosistemas de algunas partes del mundo).

De los doce años comprendidos entre 1995 y 2006, once figuran entre los doce años más cálidos de los registros instrumentales de la temperatura mundial en superficie (desde 1850).

Fue pronosticado que un calentamiento prolongado podría producir que reaparezcan enfermedades tropicales que ya habían sido erradicadas tales como la malaria, el cólera, el dengue, la fiebre amarilla y otros cambios climáticos importantes que originarían sequías en algunas partes del mundo y abundantes lluvias en otras, pudiendo causar migraciones de cientos de miles de personas en busca de mejores hábitats.

¹⁸ Extracto del Informe de Síntesis (IDS) que completa el Cuarto Informe de Evaluación (CIE) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Definiciones de cambio climático¹⁹

Para el IPCC, el término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana.

Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), que describe el cambio climático como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en períodos de tiempo comparables.

Causas antropogénicas del cambio climático

Aunque existen posiciones discrepantes, una gran parte de la comunidad científica ha llegado a la conclusión en torno a la idea de que el incremento de la concentración de gases efecto invernadero en la atmósfera terrestre está provocando alteraciones en el clima. Para esta comunidad científica existen suficientes evidencias de que las variaciones en la concentración atmosférica de algunos de los gases de efecto invernadero han estado asociadas a profundos cambios climáticos en el pasado.

Las emisiones de gases efecto invernadero producidas por las actividades humanas han sido intensas a partir de la revolución industrial. Se sabe que la concentración de gases en la atmósfera se ha incrementado a una velocidad mucho más rápida que en cualquier otro periodo histórico precedente. Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, determinados a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios.

¹⁹ Extraído del Informe de Síntesis (IDS) que completa el Cuarto Informe de Evaluación (CIE) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Si bien entonces, la razón principal del incremento de la temperatura climática, involucra al proceso de industrialización (quema de combustibles) iniciado hace siglo y medio, incluye también otras actividades como la tala de bosques y algunos métodos de explotación agrícola, que serían otras causas del fenómeno descrito, y que en las últimas décadas ha ejercido una influencia importante sobre los cambios observados en los diversos sistemas de naturaleza física (clima, agua, aire, suelo) y biológica (biodiversidad).

PREOCUPACIÓN Y RESPUESTA MUNDIAL POR EL CAMBIO CLIMATICO

Al detectar el problema del cambio climático mundial, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon en 1988 el **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)**, como un grupo abierto a todos los Miembros de las Naciones Unidas y de la OMM. Esta entidad está compuesta por más de 2000 científicos, cuyo objetivo de creación son:

- i) evaluar la información disponible sobre la ciencia, los impactos y los aspectos económicos del cambio climático, así como las opciones para mitigarlos y/o adaptarse a los mismos, y
- ii) proporcionar, si se le solicita, asesoramiento científico, técnico y socioeconómico a la Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, de las Naciones Unidas (CMCC). Desde entonces el IPCC ha producido una serie de informes de evaluación, informes especiales, notas técnicas, metodologías y otros materiales que se han convertido en obras de referencia, ampliamente utilizadas por los encargados de la toma de decisiones, los científicos y otros expertos.

El IPCC divide sus labores en tres Grupos de Trabajo y un Equipo Especial, a través de los cuales evalúan periódicamente los conocimientos sobre el cambio climático:

- Grupo de Trabajo I (WGI por su sigla en inglés), que evalúa los aspectos científicos del sistema y cambio climático.
- Grupo de Trabajo II (WGII), que evalúa la vulnerabilidad, consecuencias y posibilidades de adaptación.
- Grupo de Trabajo III (WGIII), que evalúa las posibilidades de limitar las emisiones de GEI y de atenuar los efectos del cambio climático.
- Equipo Especial, que se encarga del Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de GEI.

A través de sus Grupos de Trabajo, el IPCC emite y realiza publicaciones, aproximadamente cada 5 años, a partir de la información disponible y los avances en la investigación producidos en todo el mundo.

Desde su establecimiento, el IPCC ha producido una serie de Informes de Evaluación conocidos como AR (por su sigla en inglés Assessment Report), de modo que se publicó AR1 (Año 1990), AR2 (1995), AR3 (2001) y AR4 (2007); además de Informes Especiales, Documentos Técnicos y Guías Metodológicas que ya son obras de referencia de uso común, ampliamente utilizadas por responsables de políticas, científicos, y otros expertos y estudiosos.

Cabe destacar dos Informes Especiales (“La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono”, “La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial”) publicados en 2005, así como las Directrices sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (“IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”), reeditado en 2006.

El IPCC tiene previsto publicar durante el presente año (2014) el Informe de Síntesis de su Quinto Informe de Evaluación (AR5), actualmente en elaboración, mientras tanto se ha publicado la contribución del Grupo de Trabajo I²⁰ para el Quinto Informe de Evaluación (WGI AR5) y su Resumen para Responsables de Política²¹, aprobado en la duodécima sesión del Grupo de Trabajo I, celebrada en Estocolmo, Suecia, en setiembre del 2013.

²⁰ IPCC Working Group I Contribution to AR5. Climate Change 2013: The Physical Science Basis.

²¹ WGI Assessment Report 5th. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary to Policymakers.

Tal como menciona el documento publicado, la Contribución del Grupo de Trabajo I para el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (WGI AR5) considera nueva evidencia del cambio climático sobre la base de muchos análisis científicos independientes de observaciones del sistema climático, archivos paleoclimáticos, estudios teóricos de los procesos y simulaciones con modelos climáticos. Dicho estudio se basa en la contribución al informe de evaluación anterior (AR4) e incorpora hallazgos posteriores.

El documento WGI AR5 informa los cambios observados en el sistema climático basados en mediciones directas y teledetección desde satélites y otras plataformas. Las observaciones de temperatura y otras variables, a escala mundial obtenidos desde mediados del siglo 19, se complementan con amplios conjuntos de observaciones disponibles desde el año 1950; y conjuntamente con reconstrucciones paleoclimáticas que permitieron extender registros de hace cientos de millones de años, proporcionan una visión completa de cambios a largo plazo en la atmósfera, océanos, criósfera y superficie terrestre.

En comparación con el Informe de Evaluación anterior (AR4), en el cual se expresó que era “muy probable” que el calentamiento global se deba a la influencia de la actividad humana, en la última publicación del IPCC (WGI AR5) se afirma con “extrema confianza” (“extremadamente probable”), que la actividad humana es la principal causa del calentamiento global observado desde la década de 1950, con sus consecuentes cambios sin precedentes en el planeta.

“La atmósfera y el océano se han calentado, la cantidad de nieve y hielo ha disminuido, el nivel medio global del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero se han incrementado”, expresó Qin Dahe uno de los co-presidentes del Grupo de Trabajo I del IPCC, en rueda de prensa²² emitida en Estocolmo, Suecia, con motivo de la publicación del Resumen para Responsables de Políticas del IPCC WGI AR5.

²² IPCC Press Release 2013/20/PR “Human influence on climate clear, IPCC report says”. 27 September 2013.

"Olas de calor son muy probables que ocurran más frecuentemente y duren más. Como la Tierra se calienta, se espera ver regiones que actualmente están húmedas recibir más precipitaciones y regiones secas que reciban menos, aunque habrá excepciones", agregó en la misma rueda de prensa, el otro copresidente Thomas Stocker.

"Como consecuencia de nuestro pasado, presente y el futuro esperado de las emisiones de CO₂, estamos sometidos al cambio climático, y los efectos persistirán por muchos siglos incluso si las emisiones de CO₂ se detuvieran".²³

El informe concluye con un alto nivel de confianza que el calentamiento del océano domina el incremento de la energía almacenada en el sistema climático, que representa más del 90 % de la energía acumulada entre 1971 y 2010. Limitar el calentamiento requeriría reducciones sustanciales y sostenidas en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero.

EL PROTOCOLO DE KYOTO

En la tercera Convención Marco de las Naciones Unidas (UNFCCC) en diciembre del año 1997, 160 países adoptaron el Protocolo de Kyoto, el cual constituye un acuerdo internacional cuya característica principal es que tiene objetivos obligatorios relativos a las emisiones de gases de efecto invernadero para las principales economías mundiales que lo hayan aceptado (firmado y ratificado), con miras a reducir el total de sus emisiones de esos gases a un nivel inferior en no menos de 5,2% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012.

En casi todos los casos, los límites exigen importantes reducciones de las emisiones actualmente proyectadas. Este protocolo prevé el establecimiento de objetivos obligatorios futuros para los "períodos de compromiso" posteriores a 2012, los cuales se negociarán con suficiente antelación con respecto a los períodos afectados.

²³ Traducción de un extracto del Comunicado de Prensa: IPCC Press Release AR5 WGI 2013/20/PR. "Human influence on climate liear, IPCC report says".

Gases de efecto invernadero considerados en el protocolo de Kyoto

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) considerados por el Protocolo de Kyoto son seis a los cuales se les atribuye la mayor responsabilidad por el incremento de la temperatura global y de los disturbios en los patrones del clima.

El efecto causado por la emisión de GEI a la atmósfera es medido por el índice de poder o potencial de calentamiento global (PCG, o GWP por su sigla en inglés). El CO₂ por ser el GEI antropogénico de mayor influencia sobre la temperatura de la tierra, responsable de aproximadamente el 70% de lo que sería el calentamiento de la Tierra, es el gas de referencia en función del cual se miden los demás GEIs. En la Tabla 3 se encuentra la descripción de estos gases y sus valores de GWP.

Tabla 3. Gases de Efecto Invernadero considerados por el Protocolo de Kyoto⁽¹⁾

Nombre del Gas	Descripción	GWP⁽²⁾
Dióxido de carbono (CO ₂)	Gas natural liberado como producto de la combustión de combustibles fósiles, algunos procesos industriales y cambios en el manejo de los diversos usos del suelo.	1
Metano (CH ₄)	Gas emitido en la minería de carbón, rellenos sanitarios, ganadería y extracción de gas y petróleo, y de cualquier fuente de descomposición anaeróbica de residuos orgánicos.	21
Óxido nitroso (N ₂ O)	Gas producido durante la elaboración de fertilizantes y la combustión de combustibles fósiles, y cuyo contribuyente más significativo es el sector transporte.	310
Hidrofluoro-carbonados (HFC)	Se emiten en algunos procesos industriales y se los usa con frecuencia en refrigeración y equipos de aire acondicionado.	140 – 11 700
Perfluoro-carbonados (PFC)	Desarrollados e introducidos como una alternativa para reemplazar a algunos gases que destruían la capa de ozono, estos gases son emitidos en una variedad de procesos industriales.	6 500 – 9 200
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	Aunque este gas es lanzado en muy pocos procesos industriales, es el más potente de los GEI. Es emitido durante la producción de magnesio y se aplica en algunos equipos eléctricos.	23 900

⁽¹⁾ Fuente: El Cambio Climático y el Efecto Invernadero. Portal del Fondo Nacional del Ambiente.

⁽²⁾ GWP: Global Warning Potencial o PCG Potencial Calentamiento Global.

Los compromisos del protocolo

El compromiso contraído por cada miembro del protocolo varía de un país a otro. El objetivo global del 5.2% para los países desarrollados debe conseguirse mediante disminución, con respecto a los niveles de 1990, del 8% en la Unión Europea, Suiza y la mayor parte de los países de Europa central y oriental; 6% en el Canadá; 7% en los Estados Unidos (aunque posteriormente Estados Unidos ha retirado su apoyo al protocolo); y el 6% en Hungría, Japón y Polonia. Nueva Zelandia, Rusia y Ucrania deben estabilizar sus emisiones, mientras que Noruega puede aumentarlas hasta un 1%, Australia un 8% (posteriormente retiró su apoyo al protocolo) e Islandia un 10%.

La UE ha establecido su propio acuerdo interno para alcanzar su objetivo del 8% distribuyendo diferentes porcentajes entre sus estados miembros. Estos objetivos oscilan entre recortes del 28% en Luxemburgo y del 21% en Dinamarca y Alemania a un aumento del 25% en Grecia y del 27% en Portugal.

Mecanismos para el cumplimiento de objetivos del protocolo

Para que los países logren cumplir sus objetivos o compromisos de reducción de emisiones adquiridos en el protocolo, los países pueden realizar acciones domésticas y también acciones internacionales. El acuerdo ofrece flexibilidad brindando la alternativa de compensar parcialmente sus emisiones aumentando los “sumideros”, como lo son bosques, que eliminan el dióxido de carbono de la atmósfera, bien en el territorio nacional o en otros países.

El protocolo de Kyoto contempla la posibilidad de utilización de los denominados mecanismos flexibles, que son: el Comercio de Emisiones, el Mecanismo de Aplicación Conjunta (AC) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL); mecanismos basados en proyectos, que suponen inversiones en países en desarrollo y de economías en transición que bien reducen las emisiones de gases con efecto invernadero o bien incrementan la absorción de los mismos a través de sumideros, gracias a transferencias de tecnología limpia que, además, contribuyen al desarrollo sostenible de los países huéspedes.

Comercio de Emisiones.- Mecanismo que permite el comercio de emisiones reducidas de GEI entre los países del Anexo I del Protocolo de Kyoto (países desarrollados). Es decir, aquellos países del Anexo I que reduzcan emisiones de GEI en niveles mayores de lo exigido en el PK, podrán vender éste exceso a otros países del Anexo I, los cuales pueden acreditar estas reducciones como parte de sus compromisos de reducción de emisiones de GEI.

Mecanismo de Aplicación Conjunta (AC).- Este mecanismo permite a los países del Anexo I adquirir emisiones reducidas de proyectos que se desarrollen en otros países del Anexo I (en especial en economías en transición). Las emisiones reducidas por medio de éste mecanismo se denominan Unidades de Reducción de Emisiones (URE). En términos de la ONU (y tal como aparece en el protocolo) se ha traducido como Implementación Conjunta, pero en el mercado europeo se le llama Aplicación Conjunta.

Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).- Mecanismo que permite que una entidad o gobierno de un país industrializados (del Anexo I del PK) pueda invertir en un proyecto de reducción de emisiones en un país en desarrollo. En compensación, el país industrializado recibe certificados de reducción de emisiones (CRE) basado en el rendimiento del proyecto, y acreditarlas para cumplir con sus metas de reducción de emisiones de GEI.

Fondos de Carbono

Dirigidos a financiar la compra de emisiones de proyectos que contribuyan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en países en vías de desarrollo y en economías en transición, a través de MDL y de AC.

Fondo de Carbono para el Desarrollo de las Comunidades

Es un fondo multidonante creado con aportaciones del sector público y privado de varios países, cuyos recursos son destinados a la compra de Reducciones de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero generadas por proyectos de pequeña escala en comunidades y países de menores ingresos a la vez que se generan beneficios certificables en materia de desarrollo en las comunidades donde se desarrollan los proyectos financiados.

Fondo de Biocarbono El Fondo de Biocarbono nace como un consorcio entre empresas públicas y privadas de diversas partes del mundo, entre las que destaca el Banco Mundial. Es un fondo para proyectos que capturen los gases de invernadero en los ecosistemas forestales y agrícolas de los países en desarrollo.

Las metas de este fondo son: brindar reducciones de emisiones con costo-beneficio, beneficios ambientales y la reducción de la pobreza. Se enfocará a proyectos de reforestación, agroforestería, plantaciones forestales y de mejor administración forestal para mejorar el almacenamiento del carbono en los países con la economía en transición.

Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA por su sigla en Inglés Nationally Appropriate Mitigation Action).

La Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático realizado del 3 al 17 de diciembre en Bali – Indonesia, estableció en el Plan de Acción de Balí la implementación de NAMAs como instrumentos de gestión nacional sectorial para que los países en desarrollo realicen esfuerzos para su adecuación, medición y verificación, y que deben estar enmarcadas en el contexto de desarrollo sostenible.

En el Perú, a través del Ministerio de Medio Ambiente se viene llevando a cabo desde el año 2013 diversos talleres relacionados fortalecimiento de capacidades²⁴ y en la identificación de las Acciones o Medidas Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs), dentro de estos talleres se ha incluido al sector cementos dentro de sus prioridades, debido al potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que fortalecerá la Política Ambiental y contribuirá al desarrollo sostenible nacional.

²⁴ Memoria del Taller Nacional de Fortalecimiento de Capacidades en el diseño de NAMAs realizado el 14-15 marzo 2013.

LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO

Existen cuatro procesos de producción de cemento: de vía seca, semiseca, semihúmeda y húmeda. La elección de una u otra vía está condicionada esencialmente por el contenido de agua de las materias primas disponibles.

El proceso de vía seca es el más económico, en términos de consumo energético, y es el más común (en Europa, más del 75%; en España, casi el 100%).

Todos los procesos tienen los siguientes sub-procesos en común:

- Extracción de las materias primas en canteras.
- Preparación de las materias primas.
- Preparación de los combustibles.
- Proceso de combustión/clinkerización/enfriamiento.
- Molienda de cemento, envase y despacho.

Extracción de las materias primas

Las materias primas esenciales -caliza, margas y arcilla- son extraídas de canteras, en general próximas a la planta. Deben proporcionar los elementos esenciales en el proceso de fabricación de cemento: calcio, silicio, aluminio y hierro. Muy habitualmente debe apelarse a otras materias primas secundarias, bien naturales (bauxita, mineral de hierro) o subproductos y residuos de otros procesos (cenizas de central térmica, escorias de siderurgia, arenas de fundición).

Preparación de las materias primas

La preparación de las materias primas es fundamental para la fase posterior de combustión, tanto en la correcta dosificación química como en la suficiente finura del material de alimentación al horno. La producción de cemento es un proceso de grandes volúmenes. Las necesidades de materias primas por tonelada de clínker ascienden típicamente a 1,6 t.

La manutención de materiales en estas fases es importante, predominando los sistemas de transporte mecánicos sobre los neumáticos. Aquellos son de mayor inversión pero de menores costos operativos.

Preparación de los combustibles

Los diferentes tipos de combustibles convencionales o fósiles usados en la industria cementera, en orden decreciente de importancia, son: coque de petróleo, carbón, fuel-oil y gas natural. Por razones normalmente de costo, la utilización de los dos últimos es muy escasa.

El acondicionamiento y preparación de los combustibles obedecen a sus características físicas, químicas, toxicológicas o de peligrosidad, seguridad, etc. Los combustibles líquidos no requieren normalmente acondicionamiento, mientras que los sólidos suelen exigir una costosa preparación (trituración, molienda y secado).

En todos los casos, los sistemas de preparación, almacenamiento y combustión de los combustibles deben ser diseñados y operados con un alto nivel de seguridad frente a potenciales incendios o riesgos de explosión.

Proceso de combustión y clinkerización

En esta fase del proceso las materias primas son alimentadas al horno donde son secadas, precalentadas, calcinadas y sinterizadas para producir clinker de cemento, inmediatamente enfriado con aire, y almacenado.

En el proceso de clinkerización, la carga del horno debe alcanzar temperaturas de 1 400 a 1 500 ° C, con temperatura punta de los gases de 2 000°C.

El proceso debe realizarse bajo condiciones oxidantes, por ello se requiere un exceso de aire en la zona de sinterización; estas condiciones son esenciales para la formación de las fases del clinker y la calidad del cemento final.

Los combustibles pueden ser introducidos por uno o varios de los siguientes puntos: vía quemador(es) principal(es), en la zona de salida del horno; vía cámara de transición intercambiador-horno (tubo de caída para material no pulverizado, o quemador secundario para combustible pulverizado); o, vía

precalcinador (tubo de caída para combustible no pulverizado, o quemador para los pulverizados).

El combustible introducido por el quemador principal origina una llama que alcanza temperaturas del orden de 2 000 ° C.

Enfriadores de clinker

El clinker, a la salida del horno, debe ser enfriado de modo rápido y eficiente, tanto para fijar sus características mineralógicas, como para acondicionarlo para su manejo en las fases y equipos siguientes. Su alta temperatura, extrema abrasividad y diversa granulometría no hacen esta operación fácil.

El rápido enfriamiento del clinker con aire, en enfriadores de parrilla (Gádor), o planetario (Carboneras), proporciona el aire caliente (aire secundario) para la combustión, mejorando el rendimiento energético del piroproceso.

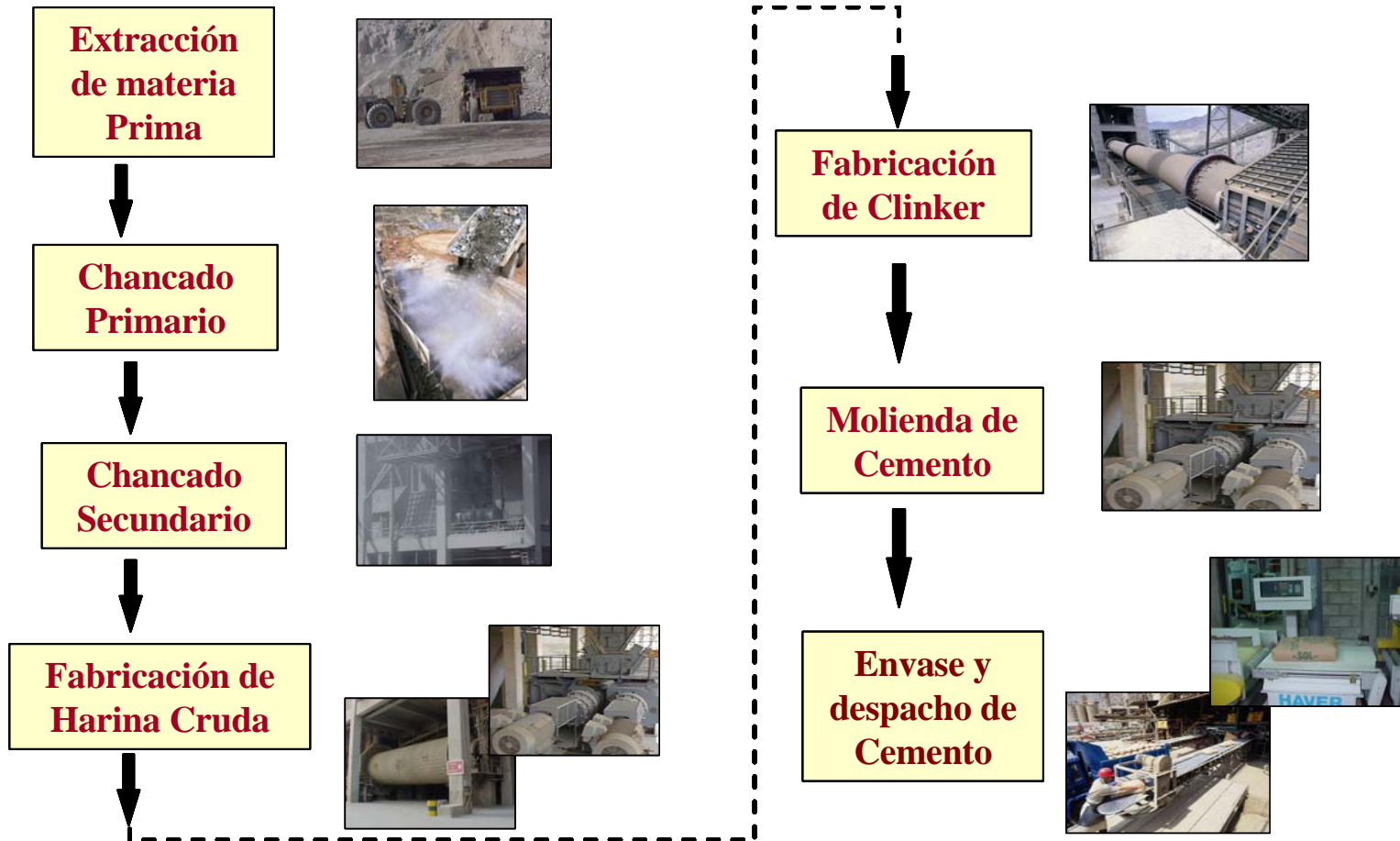
Molienda de cemento, envase y despacho

Desde el almacén de clinker (nave, silo, domo), éste es alimentado al molino de cemento junto con las adiciones minerales (yeso como retardador del fraguado; diversas adiciones minerales - puzolanas naturales o artificiales, escorias, cenizas volantes, etc. - para la fabricación de los cementos compuestos), para producir los diversos tipos de cemento portland normalizados.

Coexisten diversas tecnologías de molienda, predominando los molinos tubulares de bolas, funcionando en circuito cerrado con separadores de polvo.

El cemento portland molido es almacenado en silos, desde los que es expedido a granel, en camiones cisternas, o envasado para sus diversos usos.

Figura 8: Proceso de Producción de Cemento



MARCO LEGAL AMBIENTAL PARA LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO

INSTITUCIONALIDAD NACIONAL AMBIENTAL

La operación de producción de cemento en cuanto se refiere al cumplimiento de las regulaciones ambientales del país, tiene que establecer coordinaciones, principalmente, con las instituciones siguientes:

Ministerio de la Producción

El Ministerio de la Producción (PRODUCE) formula, aprueba, ejecuta y supervisa las políticas de alcance nacional aplicables a las actividades extractivas, productivas y de transformación en los sectores industria y pesquería, promoviendo su competitividad y el incremento de la producción, así como el uso racional de los recursos y la protección del medio ambiente . En este contexto, dicta normas de alcance nacional y supervisa su cumplimiento.

La Dirección General de Industria es el órgano técnico, normativo y promotor encargado de proponer, ejecutar y supervisar los objetivos, políticas y estrategias orientadas al desarrollo y crecimiento de la industria o empresas del subsector industria, que realicen actividades de industrialización, procesamiento y manufactura, velando por la protección del ambiente y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

La Dirección de Asuntos Ambientales de Industria es un órgano de línea de la Dirección General de Industria, tiene entre sus funciones elaborar los objetivos, políticas y estrategias para desarrollar las actividades del subsector industria en armonía con la protección del ambiente y la conservación de los recursos naturales. Además tiene la función de proponer, dirigir y coordinar los planes, programas y proyectos en materia ambiental relacionados al desarrollo sostenible del subsector. También formula y propone la normatividad de alcance nacional orientada a promover el desarrollo sostenible de las actividades del subsector industria, supervisa y controla su cumplimiento y la evaluación de su impacto. De otro lado, promueve y fortalece la participación ciudadana en la gestión ambiental y conduce el proceso de evaluación de los estudios ambientales de las actividades del subsector industria.

Ministerio del Ambiente

El Decreto Legislativo N° 1013 promulgado el 14 de Mayo del 2008, crea el Ministerio de Medio Ambiente, con el objeto de establecer una estructura organizacional para poder afrontar los desafíos ambientales, velar por el buen uso de los recursos y revertir los procesos de deterioro ambiental. La ley de creación del Ministerio del Ambiente, establece su ámbito de competencia sectorial y regula su estructura orgánica y sus funciones entre las cuales comprende ejecutar las acciones técnico-normativas de alcance nacional en materia de regulación ambiental, entendiéndose como tal el establecimiento de la política, la normatividad específica, la fiscalización, el control y la potestad sancionadora por el incumplimiento de las normas ambientales en el ámbito de su competencia, la misma que puede ser ejercida a través de sus organismos públicos correspondientes. La fiscalización ambiental del subsector cementos desde junio 2013 está a cargo de la Organización Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).

ESTRATEGIAS DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Tradicionalmente se han planteado dos enfoques distintos a la hora de formular estrategias de control de la contaminación atmosférica:

- La gestión de los recursos atmosféricos.
- La aplicación de la mejor tecnología de control de emisiones disponible que no encierre costos excesivos.

El primer enfoque se basa en la fijación de unas normas de calidad del aire (standard) que no deben sobrepasarse con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente y que corresponde a la figura legal de los niveles límite de inmisión. Al segundo enfoque corresponde el control de las emisiones mediante la aplicación de la mejor tecnología en los focos de emisión reflejados en unos valores límites.

En el Perú, la entidad encargada de establecer los Estándares de Calidad de Aire es el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), mientras que el establecimiento de los Límites Máximos Permisibles de emisión al aire, agua y suelo, es responsabilidad de cada sector productivo, administrados por los diversos ministerios, a quienes de acuerdo al Decreto Legislativo 757 “Ley Marco

para el Crecimiento de la Inversión Privada” y el Decreto Legislativo N° 613 Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, se les asigna el rol de autoridad ambiental competente.

El Ministerio de la Producción (ex MITINCI), autoridad ambiental competente del sector cemento, buscó consolidar su propuesta de gestión ambiental basada en tres criterios principales: 1) la priorización de subsectores a incorporar en los procesos de adecuación ambiental, 2) el criterio de riesgo como fundamento de la adecuación ambiental, y 3) la priorización de los incentivos como mecanismo de prevención de daños para estimular las prácticas de un buen gerenciamiento ambiental.

NORMAS LEGALES APLICABLES

La industria de la fabricación del cemento está regida bajo las normas legales siguientes:

Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades en la Industria Manufacturera

El Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera, aprobado mediante D.S. 019-97-ITINCI, consta de Título Preliminar, 3 Títulos, 5 Capítulos, 38 artículos, 5 Disposiciones Complementarias y 7 Disposiciones Transitorias.

La Política Ambiental del MITINCI se rigió por las disposiciones contenidas en el Decreto Legislativo N° 613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales; Ley Orgánica y Reglamento de Organización y Funciones del MITINCI y por los siguientes lineamientos:

Incorporar el principio de prevención en la gestión ambiental, privilegiando y promoviendo prácticas de prevención de la contaminación que reduzcan o eliminen la generación de elementos o sustancias contaminantes en la fuente generadora.

Cuando no sea posible la reducción o eliminación de elementos contaminantes en la fuente de origen, se promoverá y apoyará prácticas de reciclaje y reutilización de desechos como medio para reducir los niveles de acumulación de éstos. En caso no sea posible, se recurrirá a

prácticas de tratamiento o control de la contaminación y adecuada disposición de desechos.

El establecimiento de mecanismos de participación del sector productivo privado, la sociedad civil organizada y la población, que proporcionen elementos para la definición y ejecución de la política ambiental del Sector, incorporando entre otros el acceso libre a la información y la audiencia pública.

La creación y mantenimiento constante de información técnica y especializada con el objeto de medir y documentar los niveles y variaciones de contaminantes generados por la actividad productiva; conocer los resultados de las medidas de prevención y control adoptadas, así como registrar la reducción de elementos-contaminantes con la respectiva incidencia en los costos y beneficios de tales acciones.

La creación, mantenimiento, sistematización y difusión de esta información deberá ser coordinada con el Consejo Nacional del Ambiente - CONAM.

Régimen de Sanciones e Incentivos del Reglamento de Protección Ambiental

El MITINCI promulgó el Decreto Supremo N° 025-2001-MITINCI, Régimen de Sanciones e Incentivos del Reglamento a Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividad en la Industria Manufacturera, publicado el 18 de julio de 2001, que define las conductas susceptibles de ser premiadas como incentivos.

Complementando esta definición, el reglamento establece criterios para la determinación de los incentivos: 1) novedad y replicabilidad de la medida, técnica o proceso; 2) daños y perjuicios evitados o que pudieran evitarse; 3) beneficios obtenidos a favor de la sociedad o el ambiente; y 4) desempeño ambiental con relación a empresas similares en el subsector.

Los incentivos incluidos en el reglamento son: 1) reducción en el pago de tasas administrativas, 2) requerimientos menos frecuentes de auditorías, 3) excepción de requisitos regulatorios, 4) difusión de experiencias exitosas, 5) otorgamiento de premios públicos, y 6) certificación de buen desempeño ambiental.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

Todas las normas sobre emisiones tienen la misma idea general: existe algún grado de control de emisiones que resulta práctico para imponerlo a todos los miembros de una clase bien definida de emisores, y ese grado de control se exige a todos los miembros de esa clase. Esta filosofía fue la base de la mayor parte de las actividades de control de contaminación del aire en el mundo industrial.

En el caso específico del dióxido de carbono como sustancia componente de las emisiones gaseosas, este parámetro no es controlado tanto en nuestro país como en otros.

D. S. N° 003-2002-PRODUCE, Fija los Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales de contaminación para las actividades industriales de Cemento, Cerveza, Papel y Curtiembres.- Decreto Supremo aplicable a todas las empresas nacionales o extranjeras, públicas o privadas con instalaciones existentes o por implementar, que se dediquen en el país a las actividades industriales manufactureras de producción de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

Este decreto supremo en sus anexos 1 y 3, establece para la industria cementera del Perú, tanto para actividades en curso como para plantas nuevas, los siguientes límites permisibles:

- Anexo 1 - Límite máximo permisible de efluentes para alcantarillado: fija límites para pH, temperatura y sólidos suspendidos totales.
- Anexo 1 - Límite máximo permisible de efluentes para aguas superficiales: fija límites para pH, temperatura y sólidos suspendidos totales.
- Anexo 3 - Límite máximo permisible (LMP) para emisiones de los hornos de la industria cementera del Perú: el único parámetro controlado es el material particulado.

Por tanto, este decreto no establece límite para el dióxido de carbono CO₂ generado en esta actividad industrial.

EL CEMENTO ADICIONADO

La fabricación de cemento involucra el consumo de grandes cantidades de materias primas especialmente de caliza y de altos consumos de energía térmica y eléctrica, a fin de producir cemento, que es un producto que se abastece a nivel regional e internacional. Con la finalidad de reducir estos consumos que en su mayoría son recursos no renovables, la industria cementera ha empleado tradicionalmente ciertos residuos y subproductos minerales de composición similar a las de sus materias primas o, aún siendo de composición diferente, que mejoran algunas propiedades de los cementos.²⁶

Actualmente productores de cemento de los países desarrollados como Estados Unidos, los países miembros de la Unión Europea y algunos países en desarrollo como México, Brasil y Argentina, desde hace muchos años vienen utilizando algunos residuos en su proceso de fabricación de cemento. Los residuos que se pueden utilizar pueden ser muy variados y sus características dependerán de su futura utilización en el proceso:

- Como materia prima en la formulación del crudo.
- Como combustible alternativo en la fase de cocción (sinterización).
- Como adición al clínker en la fabricación de cemento.

En la formulación del crudo se utilizan materiales calizos, arenas y cenizas de piritas principalmente, aunque en menor medida también lodos de papelería, arenas de fundición, residuos de demolición, etc.

Como combustible alternativo se usan residuos como aceites usados, llantas en desuso, residuos agropecuarios como la cáscaras de arroz, residuos de plástico, madera, papel, harinas de animales, etc. que se reaprovecha energéticamente por su poder calorífico y ausencia de interferencias en la calidad del producto.

²⁶ "Los Cementos de Adición en España del año 2000 al 2005". Miguel Ángel Sanjuán - Instituto español del cemento y sus aplicaciones (IECA). Diciembre 2007.

Como adiciones en la formulación del cemento se están utilizando escorias de horno alto, cenizas volantes de centrales térmicas, humo de sílice, polvo de caliza precalcinada, esquistos, sulfatos de calcio, etc. En el Perú la elaboración de los cementos Portland adicionados esta regulada a través de la NTP 334.090:2007.

Cabe resaltar que la participación de la industria del cemento esta contribuyendo a mejorar la gestión de residuos a nivel mundial por medio del Coprocesamiento, y es una alternativa viable gracias a las condiciones especiales de sus procesos físicos y químicos en la fabricación de cemento, que tienen ventajas medioambientales en comparación con otros mecanismos de tratamiento y disposición final de residuos. La Federación Interamericana de Cemento (FICEM) cuenta con información importante sobre Coprocesamiento²⁷ y es un instrumento de gestión de residuos que viene promoviendo entre sus asociados, a fin de contribuir en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la gestión de residuos de cada país.

Normas Técnicas Aplicables al Cemento Adicionado

Para asegurar la calidad del producto, la fabricación de cemento adicionado tiene que cumplir con ciertos requisitos pre establecidos o estandarizados. En el Perú la entidad responsable de la normalización es el Instituto de Defensa de la Competencia y de la Protección Intelectual-INDECOPI.

Para el caso de cementos Portland adicionados se cuenta con la norma técnica NTP 334.090:2007²⁸ denominada Cementos Pórtland adicionados. Requisitos., la cual fue elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Cementos, Cales y Yesos, utilizando como antecedente a la Norma ASTM C 595:2006 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.

La NTP 334.090:2007 reemplaza a la anterior NTP 334.090:2001 presentando como principal diferencia cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español. Esta norma

²⁷ Gestión Integral de Residuos. Portal de la Federación Interamericana de Cemento.

²⁸ La Norma Técnica Peruana NTP 334.090:2007 completa está mostrada como Anexo B.

técnica establece los requisitos que deben cumplir los cementos Portland adicionados para uso en aplicaciones de construcciones en general y/o especial.

Existen varias normas técnicas peruanas, que constituyen requisitos y son citadas en la NTP 334.090:2007, (estaban vigentes a la fecha de su publicación), solo algunas de las cuales están listadas a continuación:

- *NTP 334.001:2001 "CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura"*
- *NTP 334.002:2003 "CEMENTOS. Determinación de la finura expresada por la superficie específica".*
- *NTP 334.074:2004 "CEMENTOS. Determinación de la consistencia normal".*
- *NTP 334.082:2001 "CEMENTOS. Cementos Portland. Especificación de la performance".*
- *NTP 334.084:1998 "CEMENTOS. Aditivos funcionales a usarse en la producción de cementos Portland".*
- *NTP 334.085:2005 "CEMENTOS. Aditivos de proceso a usarse en la producción de cementos Portland".*
- *NTP 334.086:1999 "CEMENTOS. Método para el análisis químico del cemento".*

La NTP 334.084:1998 *"CEMENTOS. Aditivos funcionales a usarse en la producción de cementos Portland"*, establece los criterios y los ensayos requeridos para determinar si los aditivos funcionales cumplen con las prescripciones de la norma y, si son beneficiosos en las propiedades de los cementos Portland cuando se incorporan al clinker en el proceso de producción.

La NTP 334.085:1998 *"CEMENTOS. Aditivos de proceso a usarse en la producción de Cementos Portland"*, comprende los criterios y los ensayos requeridos para determinar si los aditivos, en la producción de cementos Portland, cumplen con las prescripciones de la norma. Se especifica la información que deberá acompañar al producto, y los métodos de evaluación comparativa entre los cementos producidos con o sin aditivos de proceso, limitando la diferencia del comportamiento; los parámetros comprenden la fluidez, el tiempo de fraguado, la expansión, la contracción y la resistencia a la compresión; así como el comportamiento comparativo de concretos similares.

Como referencia, cabe mencionar que en Europa, específicamente España, para el proceso de fabricación de cemento se cuenta con la norma europea EN 197-1/2000, la cual, entre otros indica las cantidades a utilizar de adiciones de residuos o subproductos en la formulación del cemento.

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO MDL EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO

A pesar de la barrera tecnológica que significa en el país la falta de experiencia en la utilización del gas natural a nivel industrial, debido a la escasa cantidad de personal calificado en la tecnología de este combustible que pueda ser contratado para los trabajos de operación y mantenimiento de equipos operados con gas natural, UNACEM (antes Cementos Lima) se convirtió en la primera planta de cemento en analizar e implementar un proyecto sobre el cambio de combustible. El proyecto se denomina: “Cambio de combustible de carbón a gas natural en la planta industrial de cementos Atocongo, Cementos Lima, Perú”, el cual tiene como fecha de aprobación mayo del 2006 y registrado en noviembre del 2008.

El riesgo asociado con el uso de nueva tecnología representa altos costos en las actividades de capacitación, altas probabilidades de parada de planta por mantenimiento, fallas en la operación de la tubería que transporta el gas o las estufas y otras situaciones inesperadas producidas por el uso del gas natural en los diferentes subprocesos de la planta.

La posibilidad de conseguir que el proyecto se registre como un Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y la venta de las Reducciones Certificadas de Emisiones (CER) o también conocidos como “Bonos de Carbono” ayudarían a cubrir los riesgos y costos operacionales y de mantenimiento.

Calificación del Proyecto como MDL

El propósito del proyecto consiste en el cambio de combustible de carbón a gas natural en los dos hornos de cemento de la planta de cementos Atocongo de la empresa UNACEM (antes Cementos Lima), ubicado en el distrito de Villa María del Triunfo, provincia de Lima, región Lima.

El proyecto contempla la instalación de quemadores a gas en los hornos y también contempla la construcción de una tubería de gas desde un punto de distribución ubicado a 3.5 km al suroeste de la planta, y la implementación de una estación de medición y regulación para el suministro adecuado de gas. Este proyecto de cambio de uso del combustible anterior a gas natural, está orientado

a reducir la emisión de gases de efecto invernadero y la comercialización de Certificados de Reducción de Emisiones (CER por su sigla en inglés, Certified Emissions Reductions), en el contexto del MDL del Protocolo de Kyoto.

La validación de la información de los CERs se realiza a través de empresas calificadas y registradas en las Naciones Unidas para este tipo de proceso, las mismas que emiten un informe de “Verificación y Certificación”.

Aspectos críticos para aplicar como Proyecto MDL

Todo proyecto de reducción de emisiones de GEI que forme parte del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) debe reducir alguno de los GEI indicados en el Anexo A del Protocolo de Kyoto y cumplir con las siguientes condiciones:

- Participación voluntaria.
- Reducir emisiones consideradas adicionales a aquellas que se producirían en ausencia de la actividad del proyecto.
- Demostrar tener beneficios reales, medibles y de largo plazo en relación con la mitigación de los gases de efecto invernadero.
- Contribuir al desarrollo sostenible del país.
- Ser desarrollado en un país que haya ratificado el protocolo de Kyoto y que posea una Autoridad Nacional Designada.

El proyecto “Cambio de combustible de carbón a gas natural en la planta industrial de cementos Atocongo”, cumple todos los requisitos necesarios, logrando su calificación como MDL lo cual le permite ofrecer al Mercado de Carbono sus Certificados de Reducción de Emisiones. El expediente técnico económico que describe de manera detallada todos los aspectos del proyecto necesarios para su evaluación, tanto por la entidad responsable a nivel nacional El Ministerio del Ambiente, como por la entidad encargada a nivel internacional, La Organización de Las Naciones Unidas; forma parte del presente informe, está incluido como Anexo D “Mecanismo de Desarrollo Limpio-Documento de Diseño del Proyecto (Clean Development Mechanism - Project Design Document CDM-PDD)”.

Para el caso de UNACEM, la empresa TÜV SÜD South Asia Pvt. Ltd., tuvo a su cargo la revisión, validación y certificación del proyecto en el periodo comprendido del 01 setiembre 2010 al 31 agosto 2011. El informe emitido por esta empresa para el proyecto MDL en estudio está presentado como anexo E.

Los resultados obtenidos por la empresa UNACEM desde el año 2008 hasta el año 2012 se reflejan en tres momentos de emisión que ascienden a las sumas de 64 883, 110 099 y 134 998 CERs.

Con la venta de los Certificados de Reducción de Emisiones de CO₂ eq, la empresa obtuvo UE €2 087 141.00 (Dos millones ochenta y siete mil, ciento cuarenta y un con ⁰⁰/₁₀₀ Euros), que representa un total de 2.8 millones de dólares aproximadamente (Ver cuadro resumen en el Anexo F). Este ingreso monetario ha contribuido a mejorar el retorno de la inversión o el costo beneficio del proyecto, el cual ha tenido un costo total de 6.0 millones de dólares.

EVALUACIÓN DE EMISIONES A PARTIR DE MEDIDAS, CÁLCULOS O ESTIMACIÓN

Factores de emisión

Son ratios que expresan la cantidad emitida de una sustancia por tonelada de producto o materia prima, unidad de combustible consumido, etc.

Las principales fuentes bibliográficas que aportan factores de emisión de utilidad internacional son las siguientes:

- U.S. EPA (Emission Factor and Inventory Group).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).
- Universidad de Karlsruhe (Alemania).
- EEA: EMEP / CORINAIR (Atmospheric Emission Inventory Guidebook).

Estos factores de emisión ordenados en tablas para cada contaminante y proceso han sido elaborados con la finalidad de que constituyan una herramienta práctica para el cálculo de las emisiones cuando las empresas no dispongan de datos de mediciones.

Tipos de datos de emisión

Dato Medido. Es un dato de emisión basado en medidas realizadas utilizando métodos normalizados o aceptados, aunque sea necesario realizar cálculos para transformar resultados de las medidas en datos de emisiones anuales. Un dato es medido cuando:

- Es deducido a partir de los resultados de los controles directos de procesos específicos en el complejo, con base en medidas reales de concentración de contaminante para una vía de emisión determinada.
- Es el resultado de métodos de medida normalizados o aceptados.
- Se calcula con base en los resultados de un periodo corto y de medidas puntuales.

Dato Calculado. Es un dato de emisión con base en cálculos realizados utilizando métodos de estimación aceptados nacional o internacionalmente y factores de emisión, representativos del sector industrial.

Un dato es calculado cuando:

- Es obtenido utilizando datos de actividad (como consumo de combustible, tasas de producción, etc.) y factores de emisión.
- Son usados métodos de cálculo más complicados utilizando variables como la temperatura, radiación global, etc.
- Es resultado de la realización de balances de masa.
- Es obtenido con métodos de cálculo de emisiones descritos en referencias publicadas.

Dato Estimado. Es un dato de emisión basado en estimaciones no normalizadas, deducidos de las mejores hipótesis o de opiniones autorizadas.

Un dato es estimado cuando resulta de:

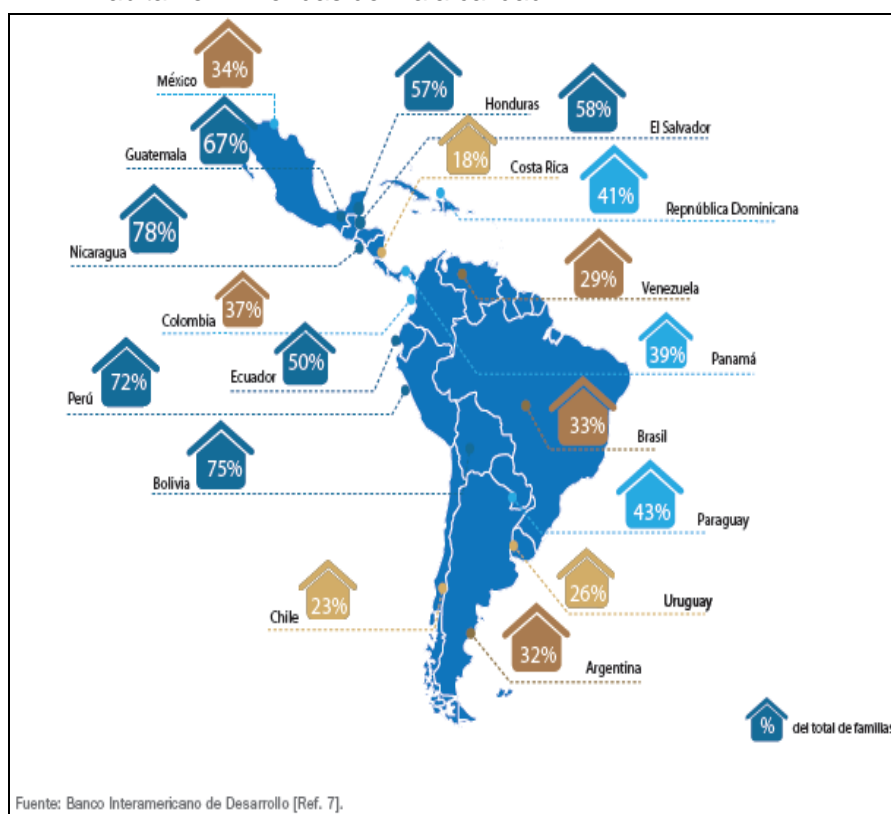
- Opiniones autorizadas, no basadas en referencias disponibles publicadas.
- Suposiciones, en caso de ausencia de metodologías reconocidas de estimación de emisiones o de guías de buenas prácticas.

ESTADÍSTICA LATINOAMERICANA Y MUNDIAL SOBRE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO²⁹

La Federación Interamericana de Cemento ha elaborado un informe estadístico 2013 sobre la situación Latinoamericana y Mundial de la industria del cemento, que es importante conocer, ya que nos brinda un panorama regional y mundial sobre el desarrollo de esta actividad cementera que impacta en el desarrollo de cada país en sus diversos indicadores económicos, ambientales y sociales.

Déficit de vivienda: Uno de cada tres familias en Latinoamérica y El Caribe (59 millones de habitantes) viven en una vivienda inadecuada o carentes de servicios básicos, según el estudio del Banco Interamericano de Desarrollo - BID.

Figura 9 Porcentaje de familias que no cuentan con un techo para vivir o habitan en viviendas de mala calidad.



Fuente: Informe estadístico 2013 FICEM.

²⁹ Informe estadístico 2013 FICEM - <http://www.ficem.org/estadisticas/informe-estadistico.html>

Consumo Percápita de cemento: El Perú presentó consumos Pécapita de 288, 296 y 338 Kg/hab en los años 2010, 2011 y 2012 respectivamente.

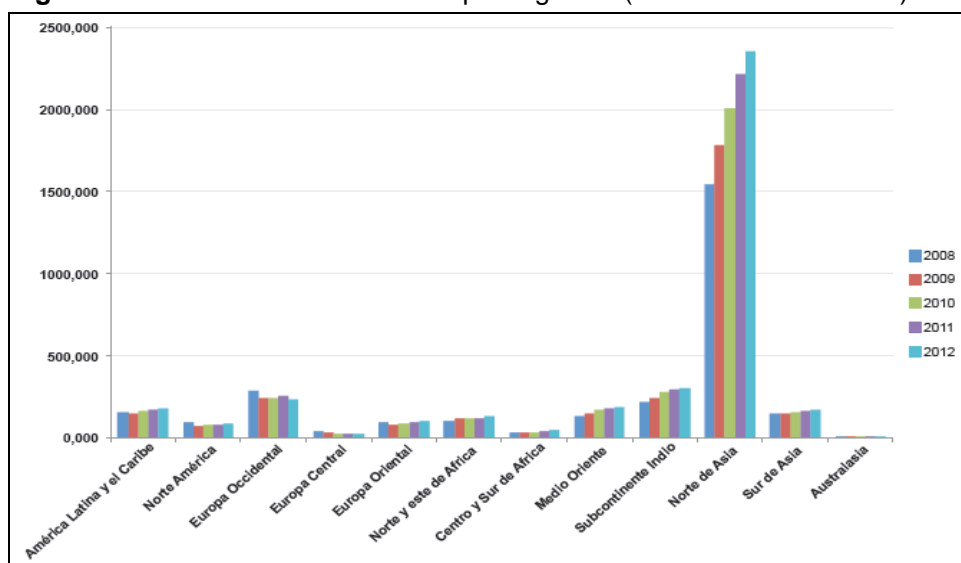
Figura 10 Consumo Per cápita Latinoamérica y El Caribe 2012



Fuente: Informe estadístico 2013 FICEM.

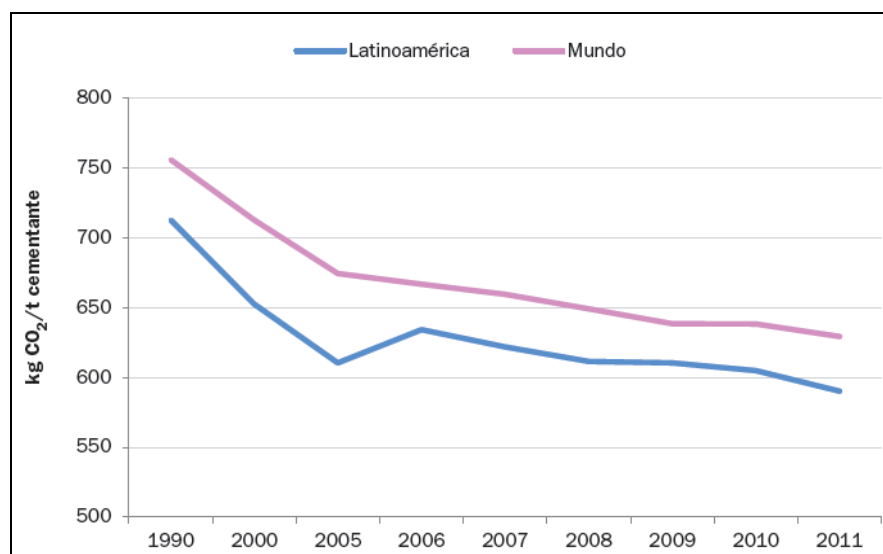
Producción de cemento mundial por regiones 2008-2012.

De acuerdo al reporte de International Cement review el crecimiento en América Latina y el Caribe ha sido variable, sin embargo en el Norte de Asia el crecimiento ha sido muy sostenido con altos porcentajes.

Figura 11 Producción de cemento por regiones (millones de toneladas)

Fuente: Informe estadístico 2013 FICEM.

Emisiones netas de CO₂ en la fabricación de cemento: De la figura 12 se observa que las emisiones de CO₂ por cada tonelada de producto cementante, registra una reducción importante de 17% desde 1990 a 2011. La industria cementera Latinoamericana tiene un desempeño similar reduciendo sus niveles de emisión de 713 a 590 kg/t.

Figura 12 Emisiones netas específicas de CO₂ por tonelada de producto cementante.

CAPITULO III

3.1 DESARROLLO DEL TRABAJO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La presente tesis se ha enfocado en determinar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la fabricación de clínker y cemento de la Planta Industrial Atocongo de la empresa UNACEM S.A.A. (antes Cementos Lima S.A.A.), seleccionando para ello dos líneas de acción específicas:

- Cambio de combustible de carbón a gas natural en el proceso de fabricación de clínker.
- Elaboración de cementos con adiciones de materiales que reemplazan al clínker en la elaboración de cementos tradicionales.

3.2 CALCULO POR CAMBIO DE COMBUSTIBLE

Se utiliza la metodología ACM003/versión 07.3 "Reducción de emisiones por sustitución parcial de combustibles fósiles por combustibles alternativos o combustibles menos intensivos en carbono en la fabricación de cemento"³⁰, en nuestro caso "Substitución de carbón por gas natural".

Esta metodología es muy rigurosa y requiere hacer un seguimiento de variables de procesos con información verificada y contrastada, basados principalmente en la cantidad de clínker producido, consumo de combustibles usados en el proceso, el poder calorífico neto o inferior (PCI) de cada uno de los combustibles, la aplicación específica de los factores de emisión de dióxido de carbono relacionado con la energía entregada por cada combustible.

Se calcula el exceso de energía consumida en el proceso de fabricación de clínker respecto de la línea de base del proyecto, determinada obteniendo el promedio de los consumos energéticos y emisiones por el uso de combustibles de los años 2003, 2004 y 2005, con la finalidad de aplicar la penalidad respectiva descontando la energía en exceso.

³⁰ Metodología de aplicación avalada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved>).

Se evalúa las emisiones fugitivas de gas natural (Metano - CH₄), que en el proyecto resultaron no aplicables para penalizar el proceso por fugas de metano.

Para determinar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por la implementación del proyecto de cambio de combustible de carbón a gas natural, utilizando datos anuales de operación en cada horno de la planta desde el año 2005 hasta el año 2012, se obtiene resultados para cada componente.

3.2.1 Línea Base para cambio de combustible

Para el estudio de esta parte de la tesis, se ha tomado como referencia de línea de base el Documento de Diseño de Proyecto (PDD) sobre “Cambio de combustible en la Planta de Cemento Atocongo y extensión de tubería de gas”, dicho proyecto ha sido calificado por las Naciones Unidas como proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), y contiene la descripción general de la actividad del proyecto, la metodología de línea de base y monitoreo, duración de la actividad del proyecto, período de acreditación, los impactos ambientales y comentarios de las partes interesadas correspondientes.

El documento de diseño del proyecto establece como referencia para la determinación de la Línea de Base - LB de los diversos parámetros del proceso de fabricación de clínker – los años 2003 al 2005. Entre los datos utilizados se consigna los niveles de consumos específicos de energía por tonelada de clínker y de emisión de dióxido de carbono por unidad de energía consumida por los combustibles durante el período 2003-2005.

El PDD incluye también el procedimiento para calcular los factores de emisión de CO₂ por tonelada de clínker, en función de la cantidad de energía consumida por cada tipo de combustible usado en la fabricación de clínker correspondiente a períodos anuales o similares.

Cabe mencionar que la amplitud de la línea de base ha sido bastante exhaustiva y ha precisado el punto de partida sobre la cual el proyecto se ha comparado para determinación de la reducción de emisiones de efecto invernadero en la fabricación de cemento.

Entre los valores de Línea de Base (2003-2005) se tienen los siguientes:

- El consumo específico de energía de la planta del proyecto en ausencia del proyecto (GJ/t clínker): 3.0891381 – calculado con la fórmula de la Pág. 25 PDD.
- Factor de emisión de CO₂ por energía del combustible (t CO₂/GJ): 0.088092 determinados en la página 40 del PDD.

Las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, en su Capítulo 1 del Vol. 2 (Energía), en su Cuadro 1.2 proporcionan Valores Caloríficos Netos (VCN) por defecto y Poder Calorífico Inferior (PCI). El Cuadro 1.4 de estas directrices proporciona Factores de Emisión de CO₂ por defecto para la combustión, los cuales están en función al contenido de carbono del combustible y han sido utilizados como Línea Base.

A partir de los cuadros 1.2 y 1.4 mencionados, (presentados como parte del Anexo C), se ha elaborado las tablas 4 y 5 mostradas a continuación, donde se resume los valores correspondientes a los combustibles utilizados en la planta Atocongo.

Tabla 4. Factores de emisión de CO₂ para la combustión

Tipo de combustible	Factor de emisión de CO ₂ eficaz			
	Intervalo de confianza del 95 %			
	Inferior		Superior	
Unidad	kg/TJ	t/GJ	kg/TJ	t/GJ
Gas/diésel oil	72 600	0,0726	74 800	0,0748
Fuelóleo residual	75 500	0,0755	78 800	0,0788
Coque de petróleo	82 900	0,0829	115 000	0,1150
Antracita	94 600	0,0946	101 000	0,1010
Otro carbón bituminoso	89 500	0,0895	99 700	0,0997

Tabla 5. Poder Calorífico Inferior (PCI) o Valores Calóricos Netos (VCN)

Tipo de combustible	Valor Calórico Neto			
	Inferior		Superior	
Unidad	TJ/Gg	GJ/t	TJ/Gg	GJ/t
Gas/diésel oíl	41,4	41,4	43,3	43,3
Fuelóleo residual	39,8	39,8	41,7	41,7
Coque de petróleo	29,7	29,7	41,9	41,9
Antracita	21,6	21,6	32,2	32,2
Otro carbón bituminoso	19,9	19,9	30,5	30,5
Gas natural	46,5	46,5	50,4	50,4

3.2.2 Resultados por cambio de combustible

En esta etapa se han elaborado tablas que consignan las características de cada combustible (Tabla 6 a Tabla 10), cuyos datos han servido para hacer los cálculos en la determinación de la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero generado por cada tipo de combustible por el cambio de combustible de carbón por gas natural en la fabricación de clínker, debido a que el gas natural es un combustible con menos contenido de carbono en su composición y mucho más amigable al ambiente por generar menores emisiones de CO₂ en su combustión, sin embargo el menor poder calorífico inferior, la acumulación de mayor cantidad de volumen de gases al interior del horno respecto del carbón, la no generación de cenizas que aportan sílice en la composición del clínker, son aspectos importantes que se debe tomar en cuenta para diseñar un crudo especial para la obtención de clínker a través del quemado con gas natural, asimismo se requiere realizar modificaciones para mejorar la extracción de gases del horno, de esta manera no afectar la producción de clínker en los dos hornos que tiene la Planta Industrial de Atocongo.

Como se observará en las tablas más adelante, para fines de seguimiento del cálculo de los diversos parámetros de combustibles y en la determinación de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero se han codificado las tablas utilizando número arábigos del 7000 al 9900.

7000 – 7900: Propiedades de los combustibles

8000 – 8900: Conversión de unidades de las propiedades de los combustibles.

9000 – 9900: Determinación de la cantidad de energía de LB y Reducción de emisiones de gases de CO₂ por implementación del proyecto.

Asimismo se tienen las siguientes abreviaturas:

- Gas Natural: GN Diesel 2: D2 Residual 6: R6 Pet Coke: PC
- Carbón Importado: CI Carbón Nacional: CN Combustible sólido: CS
- Poder Calorífico Inferior del combustible i: PCI_{Ci} ; ejemplo: PCI_{GN} ; PCI_{D2}
- Cantidad o consumo de Combustible i: Q_{Ci} Ejemplo: Q_{GN} ; Q_{CN} ; Q_{D2}
- Cantidad de Energía del combustible i: EN_{Ci} ; Ejemplo: EN_{GN} ; EN_{D2} ; EN_{R6}
- Consumo Especifico de Energía Combustible i por tonelada de clínker: CEE_{Ci} ; CEE_{GN}
- Emisiones de Dióxido de Carbono del Combustible i: $EM_{CO_{2Ci}}$; Ejemplo: $EM_{CO_{2GN}}$
- Factor de Emisiones de Dióxido de carbono de combustible i: $FE_{CO_{2Ci}}$

Tabla 6 Densidad y PCI Gas Natural Datos de Pluspetrol y Cálidda

Años	Hornos	Clínker (t)	Gas Natural (m3)	Densidad GN (kg/m3)	PCI GN (MJ/m3)		
2006	HII	1T	533,579	0	0	36.51802	
		2T	487,227	0	0		
		3T	344,833	21,991,571	0		36.50770
		4T	549,538	15,896,158	0.75090		36.53230
2007	HI	1T	162,841	0	0.75096	36.49820	
		2T	266,887	5,333,574	0.75080	36.56440	
		3T	265,754	20,614,033	0.75200	36.56310	
		4T	257,037	18,804,899	0.75100	36.55090	
	HII	1T	470,334	16,482,681	0.75096	36.49820	
		2T	522,924	20,056,410	0.75080	36.56440	
		3T	512,352	25,704,725	0.75200	36.56310	
		4T	574,095	28,618,401	0.75100	36.55090	
2008	HI	1T	217,308	16,848,999	0.75100	36.54220	
		2T	296,193	24,585,085	0.75110	36.53980	
		3T	276,184	22,573,693	0.75300	36.53280	
		4T	317,760	23,595,616	0.75700	36.62530	
	HII	1T	513,825	34,319,639	0.75100	36.54220	
		2T	381,006	22,045,898	0.75110	36.53980	
		3T	625,178	37,824,903	0.75300	36.53280	
		4T	487,878	25,335,213	0.75700	36.62530	
2009	HI	1T	238,509	16,987,195	0.75310	36.52140	
		2T	298,825	21,028,151	0.75300	36.44430	
		3T	306,774	19,172,936	0.74960	36.38500	
		4T	266,909	20,864,684	0.75000	36.38670	
	HII	1T	439,378	20,070,172	0.75310	36.52140	
		2T	390,392	14,236,939	0.75300	36.44430	
		3T	538,638	18,645,409	0.74960	36.38500	
		4T	470,876	12,359,842	0.75000	36.38670	
2010	HI	1T	250,378	18,106,779	0.75000	36.26120	
		2T	294,464	19,944,627	0.74900	36.27960	
		3T	256,807	18,954,048	0.74900	36.27050	
		4T	206,386	19,777,069	0.74800	36.29200	
	HII	1T	501,739	16,554,211	0.75000	36.26120	
		2T	577,043	21,601,933	0.74900	36.27960	
		3T	450,982	17,002,418	0.74900	36.27050	
		4T	596,518	27,826,919	0.74800	36.29200	
2011	HI	1T	273,169	25,309,331	0.74800	36.27700	
		2T	225,813	21,790,240	0.74800	36.29500	
		3T	254,792	26,220,211	0.74900	36.31100	
		4T	255,074	26,397,678	0.74900	36.32000	
	HII	1T	543,670	24,647,318	0.74800	36.27700	
		2T	598,289	30,277,525	0.74800	36.29500	
		3T	434,405	21,533,616	0.74900	36.31100	
		4T	505,312	22,255,404	0.74900	36.32000	
2012	HI	1T	261,140	23,967,108	0.74900	36.31000	
		2T	256,087	16,933,854	0.74898	36.30800	
		3T	0	0	0.74800	36.31500	
		4T	0	0	0.74900	36.21400	
	HII	1T	578,007	30,453,269	0.74900	36.31000	
		2T	644,836	31,012,790	0.74898	36.30800	
		3T	599,690	29,552,246	0.74800	36.31500	
		4T	525,864	28,169,467	0.74900	36.21400	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Propiedades del Gas Natural y emisiones de CO₂ generadas por consumo de Gas Natural

AÑOS	HORNOS	Poder Calorífico Inferior del GN (MJ/m ³)	Poder Calorífico Inferior del GN (PCI _{GN}) (GJ/t)	Densidad del GN (t/m ³)	Consumo de GN (m ³)	Factor Emisiones CO ₂ GN (FE CO _{2GN}) (t CO ₂ /GJ)	Consumo de GN (Q _{GN}) (t)	Energía que aporta el GN (EN _{GN}) (GJ)	Emisiones de CO ₂ por GN (EM CO _{2GN}) (t CO ₂)
		Reporte Pluspetrol/TGP	[8003.1]/ [8001*1000]	Reporte trimestral Calidda	Dato Celisistemas	Tablas IPCC [Valor / 1000000]	[8001] * [8202]	[8002] * [8003]	[(8002) * [8003] * [8004)]
		8003.1	8003	8001	8202	8004	8002	9001 (9000 GN)	9008 GN
2006	H I	0.0000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.000	0.00
	H II	36.5180212	48.63233608	0.00075090	37,887,729.0	0.05830000	28,449.90	1,383,584.89	80,663.00
	Total				37,887,729.0		28,449.90	1,383,584.89	80,663.00
2007	H I	36.5581285	48.65096991	0.00075144	44,752,506.0	0.05830000	33,628.68	1,636,067.87	95,382.76
	H II	36.5477713	48.65047802	0.00075123	90,862,217.0	0.05830000	68,258.56	3,320,811.53	193,603.31
	Total				135,614,723.0		101,887.24	4,956,879.40	288,986.07
2008	H I	36.5614869	48.54414885	0.00075316	87,603,393.0	0.05830000	65,979.33	3,202,910.31	186,729.67
	H II	36.5563969	48.55262708	0.00075292	119,525,653.0	0.05830000	89,993.63	4,369,427.21	254,737.61
	Total				207,129,046.0		155,972.96	7,572,337.52	441,467.28
2009	H I	36.4311160	48.48530817	0.00075138	78,052,966.0	0.05830000	58,647.80	2,843,556.66	165,779.35
	H II	36.4401631	48.49039670	0.00075149	65,312,362.0	0.05830000	49,081.74	2,379,993.13	138,753.60
	Total				143,365,328.0		107,729.54	5,223,549.79	304,532.95
2010	H I	36.2762085	48.43426178	0.00074898	76,782,523.0	0.05830000	57,508.44	2,785,378.81	162,387.58
	H II	36.2782231	48.44433073	0.00074886	82,985,481.0	0.05830000	62,144.85	3,010,565.79	175,515.99
	Total				159,768,004.0		119,653.29	5,795,944.60	337,903.57
2011	H I	36.30125665	48.49688010	0.00074853	99,717,460.0	0.05830000	74,641.28	3,619,869.11	211,038.37
	H II	36.29963229	48.50015754	0.00074844	98,713,863.0	0.05830000	73,881.76	3,583,276.93	208,905.04
	Total						148,523.04	7,203,146.04	419,943.41
2012	H I	36.30917196	48.47740103	0.00074899	40,900,962.0	0.05830000	30,634.48	1,485,080.06	86,580.17
	H II	36.28803019	48.46501890	0.00074875	119,187,772.0	0.05830000	89,241.47	4,325,089.47	252,152.72
	Total						119,875.95	5,810,169.53	338,732.88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Propiedades del diésel 2 (D-2) y emisiones de CO₂ por consumo de D-2

Años	Hornos	Consumo D2 (gal)	Factor Emisiones CO ₂ D2 (FE CO ₂ D2) (Kg CO ₂ /TJ)	Factor Emisiones CO ₂ D2 (FE CO ₂ D2) (t CO ₂ /GJ)	Poder Calorífico Inferior de D2 (PCI _{D2}) (GJ/t)	Consumo D2 (Q _{D2}) (t)	Energía D2 (EN _{D2}) (GJ)	Emisiones de CO ₂ por D2 (EM CO ₂ D2) (t CO ₂)
		Celistemas	IPCC Tablas	([8039]/1000000)	IPCC Tablas	([8903]*0.0032933)	[8014]*[8019]	[8014]*[8019]*[8239]
		8903	8039*	8239*	8019	8014	9000 D2	9005 D2
2005	H I	9,525.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	31.368683	1,358.26	98.61
	H II	12,600.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	41.495580	1,796.76	130.44
	Total	22,125.0				72.864263		229.05
2006	H I	45,850.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	150.997805	6,538.20	474.67
	H II	10,550.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	34.744315	1,504.43	109.22
	Total	56,400.0				185.742120		583.90
2007	H I	17,150.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	56.480095	2,445.59	177.55
	H II	3,800.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	12.514540	541.88	39.34
	Total	20,950.0				68.994635		216.89
2008	H I	7,500.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	24.699750	1,069.50	77.65
	H II	5,400.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	17.783820	770.04	55.90
	Total	12,900.0				42.483570		133.55
2009	H I	5,828.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	19.193352	831.07	60.34
	H II	5,289.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	17.418264	754.21	54.76
	Total	11,117.0				36.611616		115.09
2010	H I	7,300.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	24.041090	1,040.98	75.58
	H II	4,600.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	15.149180	655.96	47.62
	Total	11,900.0				39.190270		123.20
2011	H I	6,400.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	21.077120	912.64	66.26
	H II	2,400.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	7.903920	342.24	24.85
	Total	8,800.0				28.981040		91.10
2012	H I	1,900.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	6.257270	270.94	19.67
	H II	2,700.0	72,600.00	0.0726000	43.3000000	8.891910	385.02	27.95
	Total	4,600.0				15.149180		47.62

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Propiedades del petróleo residual (R-6) y emisiones de CO₂ por consumo de R-6

Años	Hornos	Consumo R6 (Q _{R6}) (t)	Factor emisiones de CO ₂ R6 (FE CO _{2R6}) (Kg/TJ)	Factor emisiones de CO ₂ R6 (FE CO _{2R6}) (t/GJ)	Poder Calorífico Inferior R6 (PCI _{R6}) (GJ/t)	Energía R6 (EN _{R6}) (GJ)	Emisiones CO ₂ por R6 (EM CO _{2R6}) (t CO ₂)
		Celistemas	Tablas IPCC	Conversión de Tablas IPCC	Tablas IPCC	[8013]*[8217]	[(8013)*[8217]*[823 8)]
		8013	8038	8238	8217	9000 F	9005 F
2005	H I	4,788.0	75500	0.07550000	41.70000000	199,659.60	15,074.30
	H II	1,118.0	75500	0.07550000	41.70000000	46,620.60	3,519.86
	Total	5,906.0					18,594.16
2006	H I	11,392.0	75500	0.07550000	41.70000000	475,046.40	35,866.00
	H II	3,205.0	75500	0.07550000	41.70000000	133,648.50	10,090.46
	Total	14,597.0					45,956.46
2007	H I	1,874.0	75500	0.07550000	41.70000000	78,145.80	5,900.01
	H II	1,982.0	75500	0.07550000	41.70000000	82,649.40	6,240.03
	Total	3,856.0					12,140.04
2008	H I	652.0	75500	0.07550000	41.70000000	27,188.40	2,052.72
	H II	1,292.0	75500	0.07550000	41.70000000	53,876.40	4,067.67
	Total	1,944.0					6,120.39
2009	H I	957.0	75500	0.07550000	41.70000000	39,906.90	3,012.97
	H II	650.0	75500	0.07550000	41.70000000	27,105.00	2,046.43
	Total	1,607.0					5,059.40
2010	H I	817.0	75500	0.07550000	41.70000000	34,068.90	2,572.20
	H II	582.0	75500	0.07550000	41.70000000	24,269.40	1,832.34
	Total	1,399.0					4,404.54
2011	H I	803.0	75500	0.07550000	41.70000000	33,485.10	2,528.13
	H II	473.0	75500	0.07550000	41.70000000	19,724.10	1,489.17
	Total	1,276.0					4,017.29
2012	H I	236.0	75500	0.07550000	41.70000000	9,841.20	743.01
	H II	446.0	75500	0.07550000	41.70000000	18,598.20	1,404.16
	Total	682.0					2,147.17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Propiedades del carbón y emisiones de CO₂ por consumo de carbón

Años	Hornos	Combustible	Carbón	Carbón	Petcoke-	PCI CI	PCI CI	FE CO2 CN	FE CO2 CI	FE CO2 PC	PCI CN	PCI CN	PCI PC	Energía CS	Emisiones CO2
		Solido-CS (t)	National-CN (t)	Importado-CI (t)	PC (t)	(kcal/kg)	(GJ/t)	(t/GJ)	(t/GJ)	(t/GJ)	(Kcal/Kg)	(GJ/t)	(GJ/t)	(GJ)	CS (t CO ₂)
		Cellistemas	Cellistemas	Cellistemas	Cellistemas	Certificado Analisis	[8506]*4.1868/1000	FE IPCC (ver Tabla 4)	FE IPCC (ver Tabla 4)	FE IPCC (ver Tabla 4)	Analisis DCC	[8509]*4.1868/1000	FE IPCC (ver Tabla 4)	(8010*8015+8011*8016+8012*8018)	(8010*8015*8235+8011*8016*8236+8012*8018*8237)
	8001	8011	8010	8012	8506	8015	8236	8235	8237	8509	8016	8018	9000 CS	9005 CS	
2005	H I	44,472.0	556.51	42,534.60	1,380.89	6,821.62	28.560766	0.094600	0.08950	0.08290	5410.2792	22.65176	41.90000	1,285,285.95	114,715.51
	H II	236,772.7	18,091.02	194,035.68	24,646.00	6,821.62	28.560766	0.094600	0.08950	0.08290	5410.2792	22.65176	41.90000	6,984,268.48	620,366.37
	Total	281,244.7	18,647.53	236,570.28	26,026.89									8,269,554.43	735,081.88
2006	H I	79,079.0	26,274.15	40,017.31	12,787.54	6,788.46	28.421921	0.094600	0.08950	0.08290	5212.5289	21.82382	41.90000	2,246,568.87	200,456.00
	H II	157,986.0	38,594.82	85,187.94	34,203.24	6,788.46	28.421921	0.094600	0.08950	0.08290	5212.5289	21.82382	41.90000	4,696,606.84	415,183.41
	Total	237,065.0	64,868.97	125,205.25	46,990.77									6,943,175.71	615,639.41
2007	H I	63,183.0	25,312.27	37,870.73	0.00	6,793.14	28.441515	0.094600	0.08950	0.08290	5260.9909	22.02672	41.90000	1,634,647.13	149,144.40
	H II	122,552.0	52,256.51	70,295.49	0.00	6,793.14	28.441515	0.094600	0.08950	0.08290	5260.9909	22.02672	41.90000	3,150,349.58	287,826.59
	Total	185,735.0	77,568.78	108,166.22	0.00									4,784,996.70	436,970.99
2008	H I	26,272.0	19,483.73	6,788.27	0.00	6,654.62	27.861578	0.094600	0.08950	0.08290	5272.6377	22.07548	41.90000	619,244.58	57,615.97
	H II	76,760.0	56,455.93	20,304.07	0.00	6,654.62	27.861578	0.094600	0.08950	0.08290	5272.6377	22.07548	41.90000	1,811,995.17	168,529.66
	Total	103,032.0	75,939.66	27,092.34	0.00									2,431,239.75	226,145.62
2009	H I	42,118.0	25,691.44	16,426.56	0.00	6,564.50	27.484231	0.094600	0.08950	0.08290	5462.2975	22.86955	41.90000	1,039,022.97	95,989.07
	H II	134,380.0	78,420.91	55,959.09	0.00	6,564.50	27.484231	0.094600	0.08950	0.08290	5462.2975	22.86955	41.90000	3,331,443.30	307,310.77
	Total	176,498.0	104,112.35	72,385.65	0.00									4,370,466.28	403,299.84
2010	H I	31,343.0	15,671.50	15,671.50	0.00	6,661.19	27.889061	0.094600	0.08950	0.08290	5639.0935	23.60976	41.90000	807,063.73	74,119.20
	H II	150,300.2	75,150.12	75,150.12	0.00	6,661.19	27.889061	0.094600	0.08950	0.08290	5639.0935	23.60976	41.90000	3,870,142.35	355,426.55
	Total	181,643.2	90,821.62	90,821.62	0.00									4,677,206.07	429,545.75
2011	H I	872.2	436.12	436.12	0.00	6,649.02	27.838123	0.094600	0.08950	0.08290	5899.8392	24.70145	41.90000	22,913.56	2,105.70
	H II	129,418.0	64,709.00	64,709.00	0.00	6,649.02	27.838123	0.094600	0.08950	0.08290	5899.8392	24.70145	41.90000	3,399,783.04	312,432.45
	Total	130,290.2	65,145.12	65,145.12	0.00									3,422,696.60	314,538.16
2012	H I	17,167.5	8,583.76	8,583.76	0.00	6,691.86	28.017471	0.094600	0.08950	0.08290	5824.4083	24.38563	41.90000	449,815.67	41,326.04
	H II	123,121.0	61,560.50	61,560.50	0.00	6,691.86	28.017471	0.094600	0.08950	0.08290	5824.4083	24.38563	41.90000	3,225,961.03	296,379.59
	Total	140,288.5	70,144.26	70,144.26	0.00									3,675,776.70	337,705.63

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 7 a la Tabla 10, para cada tipo de combustible usado en el proyecto se ha determinado, la cantidad anual de Energía (GJ) y sus respectivas emisiones de CO₂ que aportan los combustible en la fabricación de clínker, para ello se han usado los valores de las Tablas 4 y 5 respecto de indicadores establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) sobre los Poderes Caloríficos Inferiores (PCI) y los Factores de Emisión de Dióxido de carbono (FE CO₂) para la combustión de cada tipo de combustible, y con datos de PCI proporcionados por los proveedores de Gas Natural (GN), Carbón Importado (CI) y Carbón Nacional (CN) esté último determinado en el laboratorio de Control de Calidad de UNACEM, y valores de consumos anuales de combustibles y realizando las conversiones necesarias se realizan los cálculos para llevar la cantidad de energía en unidades de gigajoule (GJ), este valor de energía se multiplica con el FE CO₂ (t CO₂/GJ) de cada combustible, de esta forma se obtiene la cantidad de emisiones de Dióxido de carbono (CO₂) que ha generado cada tipo de combustible de acuerdo a su aporte en el proceso de fabricación de clínker.

En la Tabla 11 se consigna las propiedades de los combustibles y su relación con el Metano (CH₄), la información de los PCI de cada combustible y los factores de emisión de CH₄ por cada tipo de combustible usado (t CH₄/kt o t CH₄/PJ) obtenido de la "Table 3: *Default emission factors for fugitive CH4 upstream emissions*" del Método ACM0003 Versión 07.3 del proyecto (pág. 23). Cabe mencionar que estos factores de emisión de CH₄ se presentan por el proceso de extracción, transporte y distribución de cada combustible y que están referidos en el Volumen 3 de las Directrices del IPCC (1996) para los inventarios de gases de efecto invernadero nacional.

Se lleva el Factor de Emisión de CH₄ por la energía de cada combustible, este factor luego va a ser usado en el cálculo de las emisiones fugitivas de CH₄ en el proyecto (ver Tabla 12).

Tabla 11. Propiedades de combustibles y su relación con el metano

AÑOS	HORNOS	7015	7016	7018	FE CI	FE CN	FE PC	FE R6	FE D2	FE GN	PCI CI	PCI CN	NCV CI	NCV CN	EF CI	EF CN	EF PC	EF R6	EF D2	EF GN
		PCI CI	PCI CN	PCI PC	Upstream	Upstream	Upstream	Upstream	Upstream	Upstream	(Kcal/Kg)	(Kcal/Kg)	(GJ/t)	(GJ/t)	Upstream	Upstream	Upstream	Upstream	Upstream	Upstream
		(TJ/Gg)	(TJ/Gg)	(TJ/Gg)	(t CH4/kt)	(t CH4/kt)	(t CH4/kt)	(t CH4/PJ)	(t CH4/PJ)	(t CH4/PJ)	(Kcal/Kg)	(Kcal/Kg)	(GJ/t)	(GJ/t)	(t CH4/GJ)	(t CH4/GJ)	(t CH4/GJ)	(t CH4/GJ)	(t CH4/GJ)	(t CH4/GJ)	(t CH4/GJ)
		Tablas IPCC	Tablas IPCC	Tablas IPCC	Tabla 3 Métdo ACM0003	Tabla 3 Métdo ACM0003	Tabla 3 Métdo ACM0003	Tabla 3 Métdo ACM0003	Tabla 3 Métdo ACM0003	Tabla 3 Métdo ACM0003	Certificado Analisis	Analisis DCC	[(8506)*4.1868 /1000]	[(8509)*4.1868 /1000]	[(7021)/((8015)*1000)	[(7022)/((8016)*1000)	[(7023)/((7018)*1000)	[7024]/1000000	[7025]/1000000	[7026]/1000000
		(GJ/t)	(GJ/t)	(GJ/t)	7021	7022	7023	7024	7025	7026	8506	8509	8015	8016	8021	8022	8023	8024	8025	8026
2005	H I	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,821.62	5410.28	28.5608	22.6518	0.0004692	0.000592	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	H II	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,821.62	5410.28	28.5608	22.6518	0.0004692	0.000592	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	Total																			
2006	H I	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,788.46	5212.53	28.4219	21.8238	0.0004715	0.000614	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	H II	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,788.46	5212.53	28.4219	21.8238	0.0004715	0.000614	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	Total																			
2007	H I	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,793.14	5260.99	28.4415	22.0267	0.0004711	0.000608	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	H II	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,793.14	5260.99	28.4415	22.0267	0.0004711	0.000608	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	Total																			
2008	H I	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,654.62	5272.64	27.8616	22.0755	0.0004810	0.000607	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	H II	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,654.62	5272.64	27.8616	22.0755	0.0004810	0.000607	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	Total																			
2009	H I	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,564.50	5462.30	27.4842	22.8695	0.0004876	0.000586	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	H II	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,564.50	5462.30	27.4842	22.8695	0.0004876	0.000586	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	Total																			
2010	H I	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,661.19	5639.09	27.8891	23.6098	0.0004805	0.000568	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	H II	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,661.19	5639.09	27.8891	23.6098	0.0004805	0.000568	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	Total																			
2011	H I	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,649.02	5899.84	27.8381	24.7014	0.0004814	0.000542	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	H II	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,649.02	5899.84	27.8381	24.7014	0.0004814	0.000542	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	Total																			
2012	H I	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,691.86	5824.41	28.0175	24.3856	0.0004783	0.000550	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	H II	30.50	32.20	41.90	13.40	13.40	0.80	4.10	4.10	160.00	6,691.86	5824.41	28.0175	24.3856	0.0004783	0.000550	0.0000191	0.0000041	0.0000041	0.00016
	Total																			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Cálculos de consumo de energía de combustibles anuales de LB y determinación de penalidad por fugas.

AÑOS	HORNOS	Energía de los combustibles incluye al GN (GJ)	LB de consumo de CI (%)	LB de consumo de CN (%)	LB de consumo de PC (%)	LB de consumo de R-6 (%)	LB de consumo de D-2 (%)	Energía del CI respecto de su % en relación al GN (GJ)	Energía del CN respecto de su % en relación al GN (GJ)	Energía del PC respecto de su % en relación al GN (GJ)	Energía del R-6 respecto de su % en relación al GN (GJ)	Energía del D-2 respecto de su % en relación al GN (GJ)	Emissiones fugitivas de CH4 (aguas arriba) durante el período - LE CH4,y (t CO2e)
		[Σ9000]	Calculado PDD pag. 29	Calculado PDD pag. 29	Calculado PDD pag. 29	Calculado PDD pag. 29	Calculado PDD pag. 29	((9009) * [8002] * [8003])	((9010) * [8002] * [8003])	((9011) * [8002] * [8003])	((9012) * [8002] * [8003])	((9013) * [8002] * [8003])	((([9000 GN] * [8026]) - (([9014] * [8021]) + ([9015] * [8022]) + ([9016] * [8023]) + ([9017] * [8024]) + ([9018] * [8025]))) * [9019])
		9000	9009	9010	9011	9012	9013	9014	9015	9016	9017	9018-9019	9020
2005	H I	1,486,303.81	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
	H II	7,032,685.84	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
	Total	8,518,989.65											
2006	H I	2,728,153.47	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
	H II	6,215,344.66	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	1,158,610.10	26,179.75	95,342.212	102,761.313	691.530	-237,329.619
	Total	8,943,498.13											
2007	H I	3,351,306.38	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	1,370,038.63	30,957.15	112,740.700	121,513.673	817.723	-331,337.881
	H II	6,554,352.38	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	2,780,838.24	62,835.33	228,835.628	246,642.583	1,659.775	-1,365,076.269
	Total	9,905,658.77											
2008	H I	3,850,412.79	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	2,682,108.09	60,604.44	220,711.108	237,885.850	1,600.847	-1,311,856.987
	H II	6,236,068.82	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	3,658,946.07	82,676.90	301,095.263	324,525.136	2,183.883	-2,441,439.442
	Total	10,086,481.60											
2009	H I	3,923,317.61	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	2,381,186.36	53,804.87	195,948.210	211,196.015	1,421.238	-1,054,724.370
	H II	5,739,295.64	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	1,992,999.56	45,033.47	164,004.255	176,766.326	1,189.544	-738,867.583
	Total	9,662,613.24											
2010	H I	3,627,552.41	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	2,332,468.39	52,704.05	191,939.200	206,875.042	1,392.160	-987,702.185
	H II	6,905,633.50	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	2,521,039.33	56,964.96	207,456.734	223,600.080	1,504.711	-1,153,861.611
	Total	10,533,185.91											
2011	H I	3,677,180.40	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	3,031,268.22	68,494.00	249,443.551	268,854.122	1,809.247	-1,669,844.541
	H II	7,003,126.31	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	3,000,626.03	67,801.62	246,922.001	266,136.356	1,790.958	-1,636,255.252
	Total	10,680,306.71											
2012	H I	1,945,007.87	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	1,243,601.87	28,100.21	102,336.199	110,299.540	742.258	-278,357.531
	H II	7,570,033.72	0.8373972	0.0189217	0.0689096	0.0742718	0.0004998	3,621,817.77	81,837.96	298,039.969	321,232.093	2,161.723	-2,360,986.104
	Total	9,515,041.59											

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 12. “Cálculos de consumos de energía de combustibles anuales de Línea de Base (LB) y determinación de penalidad por fugas de metano”, así como la Tabla 13 “Cantidad de combustible que ha sido sustituido por el uso de gas natural”, evidencia el comportamiento energético de los hornos por el cambio de combustible de carbón por gas natural, razón por la cual al tener como LB los porcentajes (%) de combustibles usados durante los años 2003-2005 determinados en el PDD del proyecto, y al multiplicarlos por la cantidad de GN (t) y el PCI (GJ/t) del GN (proporcionado por Pluspetrol) utilizados del año 2006 al año 2012, se determina la cantidad de energía (GJ) de LB que ha sido sustituida por el GN, los mismos que han sido codificados para su comprensión del 9009 al 9019.

Los datos obtenidos se relacionan para determinar la penalidad por emisiones fugitivas de metano (9020) al comparar la totalidad de emisiones de metano proporcionado por el GN que se halla al multiplicar la cantidad de energía del GN (9000) por el factor de emisión de metano de dicho combustible (8026), que se restará de la suma de la multiplicación de la energía que proporciona cada combustible por su factor de emisión de metano respectivo. Si el resultado es menor o igual a cero, no se penaliza la reducción de emisiones de CO₂ hallada en (9505), en caso fuera mayor que cero, la cantidad de fugas de metano se multiplicando por 21 (ICG del metano respecto del CO₂), resultando las emisiones CO₂ equivalentes consignado como 9503 (ver Tabla 16).

Ecuación 6: *Penalidad por fuga de emisiones de metano.*

$$PF [9020] = (Q_{GN} * PCI_{GN} * FE_{CH4GN}) - (\sum ((Q_{Ci} * PCI_{Ci} * FE_{CH4Ci})) * ICG$$

Dónde:

PF= Penalidad por fuga de emisiones de metano (t CO₂e)

Q_{GN} = Cantidad de gas natural (t)

FE_{CH4GN} = Factor de emisión fugitiva de metano aguas arriba por producción, transporte, distribución del gas natural.

PCI_{GN} = Poder Calorífico inferior del gas natural (GJ/t)

Q_{Ci} = Cantidad de combustible i (t) no GN

PCI_{Ci} = Poder Calorífico Inferior del combustible i

FE_{CH4Ci} = Factor de emisión fugitiva de metano aguas arriba por producción, transporte, distribución del combustible i.

ICG = Índice de calentamiento global del metano (21)

Tabla 13. Cantidad de combustible sustituido por gas natural

AÑOS	HORNOS	Producción de clinker anuales (t)	Energía de los combustibles incluye al GN (GJ)	CE Energía por ton de clinker incluye GN (GJ/t)	Cantidad de CI sustituye por el uso del GN (t)	Cantidad de CN sustituye por el uso del GN (t)	Cantidad de PC sustituye por el uso del GN (t)	Cantidad de R-6 sustituye por el uso del GN (t)	Cantidad de D-2 sustituye por el uso del GN (t)
		Celisistemas	∑9000	[9000]/[8020]	[9014]/[8015]	[9015]/[8016]	[9016]/[8018]	[9017]/[8017]	[9018]/[8019]
		8020	9000	9002	9021	9022	9023	9024	9025
2005	H I	374,507.00	1,486,303.81	3.968694	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	H II	2,201,398.00	7,032,685.84	3.194645	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	2,575,905.00	8,518,989.65	3.307183					
2006	H I	731,216.00	2,728,153.47	3.730982	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	H II	1,915,177.00	6,215,344.66	3.245311	40,764.67	1,199.60	2,275.47	2,464.30	15.97
	Total	2,646,393.00	8,943,498.13	3.379505					
2007	H I	952,519.00	3,351,306.38	3.518362	48,170.38	1,405.44	2,690.71	2,914.00	18.89
	H II	2,079,705.00	6,554,352.38	3.151578	97,773.91	2,852.69	5,461.47	5,914.69	38.33
	Total	3,032,224.00	9,905,658.77	3.266797					
2008	H I	1,107,445.00	3,850,412.79	3.476843	96,265.48	2,745.33	5,267.57	5,704.70	36.97
	H II	2,007,887.00	6,236,068.82	3.105787	131,325.88	3,745.19	7,186.04	7,782.38	50.44
	Total	3,115,332.00	10,086,481.60	3.237691					
2009	H I	1,111,017.00	3,923,317.61	3.531285	86,638.27	2,352.69	4,676.57	5,064.65	32.82
	H II	1,839,284.00	5,739,295.64	3.120397	72,514.29	1,969.15	3,914.18	4,239.00	27.47
	Total	2,950,301.00	9,662,613.24	3.275128					
2010	H I	1,008,035.00	3,627,552.41	3.598637	83,633.81	2,232.30	4,580.89	4,961.03	32.15
	H II	2,126,282.00	6,905,633.50	3.247751	90,395.27	2,412.77	4,951.23	5,362.11	34.75
	Total	3,134,317.00	10,533,185.91	3.360600					
2011	H I	1,008,848.00	3,677,180.40	3.644930	108,889.10	2,772.87	5,953.31	6,447.34	41.78
	H II	2,081,676.00	7,003,126.31	3.364177	107,788.37	2,744.84	5,893.13	6,382.17	41.36
	Total	3,090,524.00	10,680,306.71	3.455824					
2012	H I	517,227.00	1,945,007.87	3.760453	44,386.66	1,152.33	2,442.39	2,645.07	17.14
	H II	2,348,397.00	7,570,033.72	3.223490	129,269.97	3,355.99	7,113.13	7,703.41	49.92
	Total	2,865,624.00	9,515,041.59	3.320408					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Cálculo de emisiones de CO₂ de Línea de Base

AÑOS	HORNOS	Producción de clinker anuales (t)	Consumo de GN en hornos (t)	PCI GN (GJ/t)	Energía de los combustibles incluye al GN (GJ)	CE Energía por ton de clinker incluye GN (GJ/t)	CE energía por ton clinker de la LB (GJ/t)	FE CO2 por energía en fabricación clinker LB (t CO ₂ /GJ)	FE CO2 por energía de los combustibles a excepción del GN (tCO ₂ /GJ)	MIN FE CO ₂ por energía combust. vs LB del PDD (tCO ₂ /GJ)	Penalidad de combustible (GJ)	Emisiones de CO ₂ de LB (t CO ₂)
		Celisistemas	Celisistemas (conversión)	Conversión $\frac{[8003.1]}{([8001]*1000)}$	$[\Sigma 9000]$	$[9000]/[8020]$	PDD Página 25	PDD Página 26	$\frac{([9005CS]+[9005D2]+[9005R6])}{([9000CS]+[9000D2]+[9000R6])}$	Min([9004],[9005])	$[8020] * ([9002] - [9003])$	$\frac{([8002] * [8003]) - [9500]}{[9500]}$
		8020	8002	8003	9000	9002	9003	9004	9005	9006	9500	9501
2005	H I	374,507.00	0.00	0.00	1,486,303.81	3.968694	3.08913809	0.088092	0.08739022	0.00000000	329,399.97	0.00
	H II	2,201,398.00	0.00	0.00	7,032,685.84	3.194645	3.08913809	0.088092	0.08873092	0.00000000	232,263.43	0.00
	Total	2,575,905.00	0.00		8,518,989.65	3.307183						
2006	H I	731,216.00	0.00	0.00	2,728,153.47	3.730982	3.08913809	0.088092	0.08679742	0.00000000	469,326.28	0.00
	H II	1,915,177.00	28,449.90	48.63	6,215,344.66	3.245311	3.08913809	0.088092	0.08803896	0.08803896	299,098.44	95,477.06
	Total	2,646,393.00	28,449.90		8,943,498.13	3.379505						
2007	H I	952,519.00	33,628.68	48.65	3,351,306.38	3.518362	3.08913809	0.088092	0.09049585	0.08809200	408,843.66	108,108.64
	H II	2,079,705.00	68,258.56	48.65	6,554,352.38	3.151578	3.08913809	0.088092	0.09095477	0.08809200	129,856.45	281,097.61
	Total	3,032,224.00	101,887.24		9,905,658.77	3.266797						
2008	H I	1,107,445.00	65,979.33	48.54	3,850,412.79	3.476843	3.08913809	0.088092	0.09227198	0.08809200	429,362.26	244,327.39
	H II	2,007,887.00	89,993.63	48.55	6,236,068.82	3.105787	3.08913809	0.088092	0.09249404	0.08809200	33,428.60	381,966.79
	Total	3,115,332.00	155,972.96		10,086,481.60	3.237691						
2009	H I	1,111,017.00	58,647.80	48.49	3,923,317.61	3.531285	3.08913809	0.088092	0.09174473	0.08809200	491,232.67	207,220.92
	H II	1,839,284.00	49,081.74	48.49	5,739,295.64	3.120397	3.08913809	0.088092	0.09210601	0.08809200	57,493.38	204,593.65
	Total	2,950,301.00	107,729.54		9,662,613.24	3.275128						
2010	H I	1,008,035.00	57,508.44	48.43	3,627,552.41	3.598637	3.08913809	0.088092	0.09115339	0.08809200	513,593.10	200,126.15
	H II	2,126,282.00	62,144.85	48.44	6,905,633.50	3.247751	3.08913809	0.088092	0.09173307	0.08809200	337,254.78	235,497.31
	Total	3,134,317.00	119,653.29		10,533,185.91	3.360600						
2011	H I	1,008,848.00	74,641.28	48.50	3,677,180.40	3.644930	3.08913809	0.088092	0.08200979	0.08200979	560,709.62	250,881.02
	H II	2,081,676.00	73,881.76	48.50	7,003,126.31	3.364177	3.08913809	0.088092	0.09180126	0.08809200	572,541.69	265,221.69
	Total	3,090,524.00	148,523.04		10,680,306.71	3.455824						
2012	H I	517,227.00	30,634.48	48.48	1,945,007.87	3.760453	3.08913809	0.088092	0.09151157	0.08809200	347,222.24	100,236.17
	H II	2,348,397.00	89,241.47	48.47	7,570,033.72	3.223490	3.08913809	0.088092	0.09177714	0.08809200	315,511.10	353,211.78
	Total	2,865,624.00	119,875.95		9,515,041.59	3.320408						

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 7 a la Tabla 14 contiene variables anuales que han permitido determinar las emisiones de CO₂ de LB, para ello se ha realizado lo siguiente:

Calcular la energía anual aportada por cada uno de los combustibles incluido el gas natural, los mismos que han sido codificados con 9000.

Ecuación 7: *Energía total de aporte de todos los combustibles.*

$$ENc = \sum (Q_{Ci} * PCI_{Ci})$$

Dónde:

ENc = Energía total de aporte de todos los combustibles (GJ)

Q_{Ci} = Cantidad de combustible i (t) incluye GN

PCI_{Ci} = Poder Calorífico Inferior del combustible i (GJ/t)

Luego se ha calculado el consumo específico anual de energía del proyecto por tonelada de clínker producido codificado con 9002, para ello se ha realizado la siguiente operación:

Ecuación 8: *Consumo específico anual de energía del proyecto por tonelada de clínker.*

$$CEE_{py} = ENc / Q_{clk}$$

Dónde:

CEE_{py} = Consumo específico anual de energía del proyecto por tonelada de clínker (GJ/t clk)

Q_{clk} = Cantidad anual de clínker producido (t)

Asimismo, se ha calculado el consumo específico de energía de línea de base (CEE_{LB}) de cada año base, empleando la información y ecuaciones listadas en el PDD del proyecto (página 25-26), seleccionando el valor mínimo de los CEE_{LB}.

Ecuación 9: *Consumo específico de energía de línea de base por año.*

$$CEE_{LB} = \text{Min} (CEE_{LB2003} , CEE_{LB2004} , CEE_{LB2005})$$

Los datos calculados dan como valor mínimo: CEE_{LB} = 3.089138 GJ/t clk

Este valor se consigna en todos los años siguientes del proyecto, a fin de determinar si ha habido un exceso de consumo de energía comparado con los CEEpy, en caso afirmativo se debe restar este exceso de energía en la determinación de la reducción de emisiones de CO₂ del proyecto.

De la misma forma el PDD del proyecto (página 25) ha establecido la ecuación para determinar el Factor de Emisión de CO₂ de Línea de Base (FE_{LB} 2003-2005) bajo dos escenarios, aplicando el menor valor que es de 0.088092 t CO₂ / GJ (Página 40 PDD).

Tabla 15. Factores de emisión de CO₂ de LB

Case A		Case B	Case C	MIN
Year	EF_{CO2,BL,y}	EF_{CO2,BL,y}	EF_{CO2,BL,y}	EF_{CO2,BL,y}
2008	0.088092	0.09938	-	0.088092
2009	0.088092	0.09930	-	0.088092
2010	0.088092	0.09940	-	0.088092
2011	0.088092	0.09947	-	0.088092
2012	0.088092	0.09947	-	0.088092
2013	0.088092	0.09947	-	0.088092
2014	0.088092	0.09947	-	0.088092

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Reducción de emisiones anuales de CO₂ por cambio de combustible

AÑOS	HORNOS	Producción de clinker anuales (t)	Consumo de GN en hornos (t)	PCI GN (GJ/t)	Energía de los combustibles incluye al GN (GJ)	CE Energía por ton de clinker incluye GN (GJ/t)	CE energía por ton clinker de la LB (GJ/t)	MIN FE CO ₂ por energía combust. vs LB del PDD (tCO ₂ /GJ)	Emisiones fugitivas de CH ₄ (aguas arriba) (t CO _{2e})	Penalidad de combustible (GJ)	Emisiones de CO ₂ de LB (t CO ₂)	Emisiones CO ₂ por GN en el proyecto (t CO ₂)	Fugas de CH ₄ (t CO _{2eq})	Reducción emisiones CO ₂ (t CO ₂)
		Celisistemas	Celisistemas (conversión)	Conversión $\frac{((8003.1)/((8001)*1000))$	$[\sum 9000]$	$[9000]/[8020]$	PDD Página 25	Min $(9004],[9005]$	$\frac{((9000 \text{ GN}) * [8026]) - ((9014) * [8021]) + ((9015) * [8022]) + ((9016) * [8023]) + ((9017) * [8024]) + ((9018) * [8025]))}{[9019]}$	$[8020] * ([9002] - [9003])$	$\frac{((8002) * [8003]) - [9008\text{GN}]}{[9500]} * [9006]$	si $([9020] <= 0)$ entonces 0 sino $[9020*21]$	$\frac{((9501) - [9502] - [9503])}{[9505]}$	
		8020	8002	8003	9000	9002	9003	9006	9020	9500	9501	9502	9503	9505
2005	H I	374,507.00	0.00	0.00	1,486,303.81	3.968694	3.08913809	0.00000000	0.000	329,399.97	0.00	0.00	0.00	0.00
	H II	2,201,398.00	0.00	0.00	7,032,685.84	3.194645	3.08913809	0.00000000	0.000	232,263.43	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	2,575,905.00	0.00		8,518,989.65	3.307183								0.00
2006	H I	731,216.00	0.00	0.00	2,728,153.47	3.730982	3.08913809	0.00000000	0.000	469,326.28	0.00	0.00	0.00	0.00
	H II	1,915,177.00	28,449.90	48.63	6,215,344.66	3.245311	3.08913809	0.08803896	-237,329.619	299,098.44	95,477.06	80,663.00	0.00	14,814.06
	Total	2,646,393.00	28,449.90		8,943,498.13	3.379505								14,814.06
2007	H I	952,519.00	33,628.68	48.65	3,351,306.38	3.518362	3.08913809	0.08809200	-331,337.881	408,843.66	108,108.64	95,382.76	0.00	12,725.88
	H II	2,079,705.00	68,258.56	48.65	6,554,352.38	3.151578	3.08913809	0.08809200	-1,365,076.269	129,856.45	281,097.61	193,603.31	0.00	87,494.30
	Total	3,032,224.00	101,887.24		9,905,658.77	3.266797					389,206.25			100,220.18
2008	H I	1,107,445.00	65,979.33	48.54	3,850,412.79	3.476843	3.08913809	0.08809200	-1,311,856.987	429,362.26	244,327.39	186,729.67	0.00	57,597.72
	H II	2,007,887.00	89,993.63	48.55	6,236,068.82	3.105787	3.08913809	0.08809200	-2,441,439.442	33,428.60	381,966.79	254,737.61	0.00	127,229.18
	Total	3,115,332.00	155,972.96		10,086,481.60	3.237691					626,294.18			184,826.91
2009	H I	1,111,017.00	58,647.80	48.49	3,923,317.61	3.531285	3.08913809	0.08809200	-1,054,724.370	491,232.67	207,220.92	165,779.35	0.00	41,441.57
	H II	1,839,284.00	49,081.74	48.49	5,739,295.64	3.120397	3.08913809	0.08809200	-738,867.583	57,493.38	204,593.65	138,753.60	0.00	65,840.05
	Total	2,950,301.00	107,729.54		9,662,613.24	3.275128					411,814.57			107,281.62
2010	H I	1,008,035.00	57,508.44	48.43	3,627,552.41	3.598637	3.08913809	0.08809200	-987,702.185	513,593.10	200,126.15	162,387.58	0.00	37,738.56
	H II	2,126,282.00	62,144.85	48.44	6,905,633.50	3.247751	3.08913809	0.08809200	-1,153,861.611	337,254.78	235,497.31	175,515.99	0.00	59,981.33
	Total	3,134,317.00	119,653.29		10,533,185.91	3.360600					435,623.46			97,719.89
2011	H I	1,008,848.00	74,641.28	48.50	3,677,180.40	3.644930	3.08913809	0.08200979	-1,669,844.541	560,709.62	250,881.02	211,038.37	0.00	39,842.65
	H II	2,081,676.00	73,881.76	48.50	7,003,126.31	3.364177	3.08913809	0.08809200	-1,636,255.252	572,541.69	265,221.69	208,905.04	0.00	56,316.64
	Total	3,090,524.00	148,523.04		10,680,306.71	3.455824					516,102.71			96,159.30
2012	H I	517,227.00	30,634.48	48.48	1,945,007.87	3.760453	3.08913809	0.08809200	-278,357.531	347,222.24	100,236.17	86,580.17	0.00	13,656.00
	H II	2,348,397.00	89,241.47	48.47	7,570,033.72	3.223490	3.08913809	0.08809200	-2,360,986.104	315,511.10	353,211.78	252,152.72	0.00	101,059.06
	Total	2,865,624.00	119,875.95		9,515,041.59	3.320408					453,447.95			114,715.07
PROM AÑO											472,081.52		PROM AÑO	116,820.49
											100.00%			24.75%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Emisiones anuales de CO₂ y Factor de Emisión (FE) de combustibles

AÑOS	HORNOS	Producción de clinker anuales (t)	Energía de los combustibles incluye al GN (GJ)	FE CO ₂ por energía de combustibles incluye el GN (tCO ₂ /GJ)	Emisiones Totales de CO ₂ por combustibles sin penalidad (t CO ₂)	FE de CO ₂ por tonelada de clinker (t CO ₂ /t clk)
		Celistemas	[Σ9000]	$\frac{((9005CS) + ((9005D2) + [9005R6] + [9008GN]))}{((9000CS) + [9000D2] + [9000R-6] + [9000GN])}$	$((9000) * [9005GN])$	$\frac{((9501sp)}{((8020))}$
		8020	9000	9005GN	9501sp	9700
2005	H I	374,507.00	1,486,303.81	0.08739022	129,888.4217	0.34683
	H II	2,201,398.00	7,032,685.84	0.08873092	624,016.6693	0.28346
	Total	2,575,905.00	8,518,989.65		753,905.0910	0.29268
2006	H I	731,216.00	2,728,153.47	0.08679742	236,796.6770	0.32384
	H II	1,915,177.00	6,215,344.66	0.08141883	506,046.0908	0.26423
	Total	2,646,393.00	8,943,498.13		742,842.7679	0.28070
2007	H I	952,519.00	3,351,306.38	0.07477822	250,604.7177	0.26310
	H II	2,079,705.00	6,554,352.38	0.07440999	487,709.2697	0.23451
	Total	3,032,224.00	9,905,658.77		738,313.9875	0.24349
2008	H I	1,107,445.00	3,850,412.79	0.06401288	246,476.0058	0.22256
	H II	2,007,887.00	6,236,068.82	0.06853530	427,390.8345	0.21286
	Total	3,115,332.00	10,086,481.60		673,866.8403	0.21631
2009	H I	1,111,017.00	3,923,317.61	0.06750453	264,841.7295	0.23838
	H II	1,839,284.00	5,739,295.64	0.07808721	448,165.5565	0.24366
	Total	2,950,301.00	9,662,613.24		713,007.2860	0.24167
2010	H I	1,008,035.00	3,627,552.41	0.06592725	239,154.5666	0.23725
	H II	2,126,282.00	6,905,633.50	0.07715766	532,822.4958	0.25059
	Total	3,134,317.00	10,533,185.91		771,977.0624	0.24630
2011	H I	1,008,848.00	3,677,180.40	0.05866953	215,738.4563	0.21385
	H II	2,081,676.00	7,003,126.31	0.07465973	522,851.5134	0.25117
	Total	3,090,524.00	10,680,306.71		738,589.9697	0.23899
2012	H I	517,227.00	1,945,007.87	0.06615340	128,668.8850	0.24877
	H II	2,348,397.00	7,570,033.72	0.07265019	549,964.4221	0.23419
	Total	2,865,624.00	9,515,041.59		678,633.3071	0.23682

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Factores de Emisión (FE) de CO₂ de combustible de Línea Base y del proyecto por uso de Gas Natural.

DESCRIPCION	Producción clinker	Consumo otros combustibles	Consumo GN		Porcentaje GN	Porcentaje otros combustibles	Consumo específico de GN		FE CO ₂ por ton. de clinker proyecto	FE de CO ₂ por ton. de clinker LB	Reducción CO ₂ por tonelada clinker por uso GN	
			(t)	(m ³)			(t GN/t clk)	(m ³ GN/t clk)				
AÑOS	(t)	(t)	(t)	(m ³)	(%)	(%)	(t GN/t clk)	(m ³ GN/t clk)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t clk)	
2005	HI	374,507.00	49,291.37	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
	HII	2,201,398.00	237,932.20	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
	Total	2,575,905.00	287,223.56	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
2006	HI	731,216.00	90,622.00	0.00	0.00	0.00%	100.00%	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
	HII	1,915,177.00	161,225.74	28,449.90	37,887,729.00	15.00%	85.00%	0.0149	19.7829	0.04212	0.04985	0.0077
	Total	2,646,393.00	251,847.74	28,449.90	37,887,729.00	10.15%	89.85%	0.0108	14.3167	0.04212	0.04985	0.0077
2007	HI	952,519.00	65,113.48	33,628.68	44,752,506.00	34.06%	65.94%	0.0353	46.9833	0.10014	0.11350	0.0134
	HII	2,079,705.00	124,546.51	68,258.56	90,862,217.00	35.40%	64.60%	0.0328	43.6900	0.09309	0.13516	0.0421
	Total	3,032,224.00	189,659.99	101,887.24	135,614,723.00	34.95%	65.05%	0.0336	44.7245	0.09530	0.12836	0.0331
2008	HI	1,107,445.00	26,948.70	65,979.33	87,603,393.00	71.00%	29.00%	0.0596	79.1041	0.16861	0.22062	0.0520
	HII	2,007,887.00	78,069.78	89,993.63	119,525,653.00	53.55%	46.45%	0.0448	59.5281	0.12687	0.19023	0.0634
	Total	3,115,332.00	105,018.48	155,972.96	207,129,046.00	59.76%	40.24%	0.0501	66.4870	0.14171	0.20104	0.0593
2009	HI	1,111,017.00	43,094.19	58,647.80	78,052,966.00	57.64%	42.36%	0.0528	70.2536	0.14921	0.18651	0.0373
	HII	1,839,284.00	135,047.42	49,081.74	65,312,362.00	26.66%	73.34%	0.0267	35.5097	0.07544	0.11124	0.0358
	Total	2,950,301.00	178,141.61	107,729.54	143,365,328.00	37.68%	62.32%	0.0365	48.5935	0.10322	0.13958	0.0364
2010	HI	1,008,035.00	32,184.04	57,508.44	76,782,523.00	64.12%	35.88%	0.0571	76.1705	0.16109	0.19853	0.0374
	HII	2,126,282.00	150,897.39	62,144.85	82,985,481.00	29.17%	70.83%	0.0292	39.0284	0.08255	0.11076	0.0282
	Total	3,134,317.00	183,081.43	119,653.29	159,768,004.00	39.52%	60.48%	0.0382	50.9738	0.10781	0.13899	0.0312
2011	HI	1,008,848.00	1,696.32	74,641.28	99,717,460.00	97.78%	2.22%	0.0740	98.8429	0.20919	0.24868	0.0395
	HII	2,081,676.00	129,898.90	73,881.76	98,713,863.00	36.26%	63.74%	0.0355	47.4204	0.10035	0.12741	0.0271
	Total	3,090,524.00	131,595.22	148,523.04	198,431,323.00	53.02%	46.98%	0.0481	64.2064	0.13588	0.16700	0.0311
2012	HI	517,227.00	17,409.78	30,634.48	40,900,962.00	63.76%	36.24%	0.0592	79.0774	0.16739	0.19380	0.0264
	HII	2,348,397.00	123,575.88	89,241.47	119,187,772.00	41.93%	58.07%	0.0380	50.7528	0.10737	0.15041	0.0430
	Total	2,865,624.00	140,985.66	119,875.95	160,088,734.00	45.95%	54.05%	0.0418	55.8652	0.11821	0.15824	0.0400

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 "Reducción de emisiones de CO₂ anuales por cambio de combustible", se determina la cantidad anual de CO₂ como Línea de Base ([9501]), las emisiones anuales de CO₂ durante el uso de gas natural ([9502]) y penalidades por fuga de Metano ([9503]), se restan los resultados obtenidos en cada año ([9501]-[9502]-[9503]), de esta forma se obtiene la Reducción de Dióxido de Carbono en cada horno y por año.

De la Tabla 16 se ha obtenido del año 2007 al año 2012 una reducción promedio anual de 116 820.49 toneladas de CO₂, que representa una reducción del 24.75% respecto de las emisiones de Línea de Base sin proyecto. La cantidad total de emisiones de CO₂ que se han dejado de emitir, luego de la implementación del gas natural es de 700 922.96 t CO₂ en la fabricación de clínker en el período 2007-2012.

La Tabla 18 es un resumen de la implicancia de la sustitución parcial de carbón por gas natural en la reducción de emisiones de Dióxido de carbono, donde se consigna el porcentaje de gas natural usado, el consumo específico de gas natural por tonelada de clínker producido, las emisiones de CO₂ de Línea de Base (LB) y con el uso de gas natural, determinándose anualmente el factor de reducción de emisiones por cada tonelada de clínker producido desde la implementación del proyecto.

En la Tabla 17 se ha determinado la cantidad de emisiones totales anuales de CO₂ por uso de combustible, asimismo se ha calculado el Factor de Emisión (FE) de CO₂ por cada tonelada de clínker producido, cuya información es importante, para calcular la reducción de emisiones por cada tonelada de cemento producido, debido a que el clínker es el componente principal de dicho producto.

3.3 CALCULO POR USO DE ADICIONES

Para conocer las cantidades de Dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) que se reducen en la fabricación cemento, es importante conocer el factor de emisión por cada tonelada de clínker producido tanto por el aporte de los combustibles como por la descarbonatación de la caliza.

En la Tabla 17 se ha determinado el Factor de Emisión anual de CO₂ por el consumo de combustibles por cada tonelada de clínker producido, por ello en este capítulo complementaremos la determinación de emisiones de CO₂ por descarbonatación, de esta forma se completa todo el proceso respecto de las emisiones de CO₂ por cada tonelada de clínker producido.

Con el Factor de Emisión de CO₂ del combustible y del proceso de descarbonatación y en base a las implicancias específicas que se presentan para cada tipo de cemento, tomando en cuenta los consumos de materias primas (caliza, puzolana, yeso) que se adicionan al clínker para la elaboración de los diversos tipos de cemento, la producción de los tipos de cemento, la relación clínker/cemento, se obtendrá la cantidad de CO₂eq por tonelada de clínker y de cemento que se generan antes y después de la implementación de las acciones descritas.

3.3.1 Línea Base para uso de adiciones

Los datos registrados en los años 2004, 2005 y 2006 sirvieron como Línea de Base (LB) para la determinación de la reducción de emisiones de CO₂, los mismos que se consignado en las tablas que se desarrollaran líneas abajo.

3.3.2 Resultados por uso de adiciones

Se describe en las Tablas 18 a la Tabla 21 se determina la cantidad de emisiones anuales de CO₂eq que se generan por la descarbonatación de la caliza usada en la calcinación y fabricación de cada tipo de clínker y cemento producido.

En primer lugar se determinó los factores de emisión por descarbonatación de la caliza por cada tipo de clínker, a través del método establecido en el Capítulo 2

“Emisiones de la industria de los minerales” establecido por las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

En función a la información obtenida del sistema de base de datos se seleccionó el método de Nivel 2: Emisiones basadas en los datos sobre producción de clinker.

$$\text{Emisiones CO}_2 = Q_{\text{clk}} \times FE_{\text{clk}} \times FC_{\text{CKD}}$$

Dónde:

Emisiones CO₂ = Emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cemento, toneladas (t)

Q_{clk} = Cantidad de clinker producido, toneladas (t)

FE_{clk} = Factor de emisión para el clinker, toneladas de CO₂/toneladas de clinker

Este factor de emisión del clinker (EF_{cl}) no está corregido para el CKD

FC_{ckd} = Factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión.

Este método de Nivel 2 se basa en las siguientes hipótesis en relación con la industria del cemento y con la producción de clinker:

- La mayor parte del cemento hidráulico es cemento portland o un cemento similar que requiere clinker de cemento portland;
- En la composición del clinker, la proporción de CaO varía dentro de un intervalo muy limitado y el contenido de MgO se mantiene muy bajo;
- En general, las plantas son capaces de controlar el contenido de CaO en las entradas de materias primas y de clinker dentro de un intervalo estrecho de tolerancia;
- Aun cuando la salida de clinker se calcula en vez de medirla directamente en la planta, a la hora de los controles de auditoría ambos métodos de determinación arrojan resultados concordantes;
- Para una planta en particular, el contenido de CaO del clinker tiende a no variar significativamente a través de los años;

- Para la mayoría de las plantas, la fuente principal de CaO es el CaCO_3 y toda otra fuente de CaO cuyo origen no sean los carbonatos, está debidamente cuantificada, por lo menos al nivel de la planta;
- Para las entradas de carbonatos usados en la fabricación de clínker se alcanza un factor de calcinación del 100 por ciento (o muy cercano), incluidos (normalmente en menor escala) los materiales perdidos para el sistema como CKD no reciclado;
- Los colectores de polvo de las plantas capturan casi la totalidad del CKD, aunque éste no necesariamente se recicle hacia el horno.

Tabla 19. Fracción de descarbonación de Clinker I

CLINKER I	CaO			MgO			Indicador	Producción Neta	Nivel 2 - Directrices IPCC ⁽¹⁾			TOTAL	
	Fracción (CaO)	Factor (CO ₂ /CaO)	t CO ₂ /t Clk	Fracción (MgO)	Factor (CO ₂ /MgO)	t CO ₂ /t Clk	CaO y MgO		FE descarb ⁽²⁾	FC CKD ⁽³⁾	FE ⁽²⁾ descarb-CKD		
							t CO ₂ /t Clk						t	t CO_{2}/t Clk	t CO_{2}/t Clk
2005	H I	0.63690	0.7857	0.50042	0.03401	1.0918	0.03713	0.53756	259,529.0	0.500424	1.036358	0.5186187	134,596.6
	H II	0.63833	0.7857	0.50155	0.03348	1.0918	0.03656	0.53811	1,562,609.0	0.501548	1.000052	0.5015748	783,765.2
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53803	1,822,138.0			0.5040024	918,361.8
2006	H I	0.63863	0.7857	0.50178	0.03458	1.0918	0.03776	0.53954	731,216.0	0.501781	1.041049	0.5223782	381,971.3
	H II	0.64066	0.7857	0.50338	0.03309	1.0918	0.03613	0.53951	1,318,046.0	0.503377	1.000030	0.5033923	663,494.3
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53952	2,049,262.0			0.5101669	1,045,466
2007	H I	0.64080	0.7857	0.50348	0.03270	1.0918	0.03571	0.53919	952,519.0	0.503484	1.040555	0.5239028	499,027.4
	H II	0.64133	0.7857	0.50391	0.03282	1.0918	0.03583	0.53974	1,656,364.0	0.503906	1.000081	0.5039468	834,719.3
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53954	2,608,883.0			0.5112329	1,333,746.8
2008	H I	0.63969	0.7857	0.50261	0.03259	1.0918	0.03558	0.53819	1,052,287.0	0.502613	1.036676	0.5210467	548,290.6
	H II	0.63890	0.7857	0.50199	0.03245	1.0918	0.03543	0.53742	1,933,576.0	0.501991	1.000115	0.5020485	970,749.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53769	2,985,863.0			0.5087439	1,519,039.6
2009	H I	0.63982	0.7857	0.50272	0.03127	1.0918	0.03414	0.53686	1,042,621.0	0.502719	1.035291	0.5204604	542,642.9
	H II	0.63887	0.7857	0.50197	0.03134	1.0918	0.03422	0.53619	1,839,284.0	0.501972	1.000014	0.5019793	923,282.5
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53643	2,881,905.0			0.5086654	1,465,925.4
2010	H I	0.64051	0.7857	0.50326	0.03171	1.0918	0.03462	0.53788	989,884.0	0.503261	1.034997	0.5208743	515,605.2
	H II	0.63961	0.7857	0.50255	0.03142	1.0918	0.03430	0.53685	2,036,512.0	0.502550	1.000015	0.5025573	1,023,464.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53719	3,026,396.0			0.5085485	1,539,069.2
2011	H I	0.638593	0.7857	0.50175	0.032853	1.0918	0.03587	0.53762	970,304	0.501752	1.000770	0.5021379	487,226.4
	H II	0.638661	0.7857	0.50180	0.029606	1.0918	0.03232	0.53413	2,044,552	0.501805	1.000045	0.5018273	1,026,012.1
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53525	3,014,856			0.5019273	1,513,238.4
2012	H I	0.638293	0.7857	0.50152	0.03156	1.0918	0.03446	0.53597	481,074	0.501516	1.001008	0.5020212	241,509.4
	H II	0.639614	0.7857	0.50255	0.031608	1.0918	0.03451	0.53706	2,302,020	0.502554	1.000044	0.5025756	1,156,939.2
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53688	2,783,094			0.5024798	1,398,448.6

(1): Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Cap. 2 Emisiones de la industria de los Minerales. 2.2 Producción de cemento.

(2): Sin considerar descarbonación de carbonatos de magnesio.

(3): Factor de corrección por CKD son los "polvos de horno de cemento" (por su sigla en inglés Clinker Kiln Dust).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Fracción de descarbonación de Clíinker I BA

CLINKER IBA	CaO			MgO			Indicador	Producción Neta	Nivel 2 - Directrices IPCC ⁽¹⁾			TOTAL	
	Fracción (CaO)	Factor (CO ₂ /CaO)	t CO ₂ /t Clk	Fracción (MgO)	Factor (CO ₂ /MgO)	t CO ₂ /t Clk	CaO y MgO		FE descarb ⁽²⁾	FC CKD ⁽³⁾	FE ⁽²⁾ descarb-CKD		
							t CO ₂ /t Clk	t	t CO ₂ /t Clk		t CO ₂ /t Clk I	t CO ₂ /t Clk I	
2005	H I	0.64992	0.7857	0.51065	0.03346	1.0918	0.03653	0.54718	68,768.0	0.510651	1.036358	0.5292169	36,393.2
	H II	0.65215	0.7857	0.51241	0.03323	1.0918	0.03628	0.54869	365,312.0	0.512405	1.000052	0.5124320	187,197.6
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54845	434,080.0			0.5150911	223,590.7
2006	H I		0.7857	0.00000		1.0918	0.00000	0.00000	0.0	0.000000	0.000000	0.0000000	0.0
	H II	0.65419	0.7857	0.51401	0.03024	1.0918	0.03302	0.54703	370,955.0	0.514009	1.000030	0.5140244	190,679.9
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54703	370,955.0			0.5140244	190,679.9
2007	H I			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.040555	0.0000000	0.0
	H II			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000081	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0				0.0
2008	H I			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.036676	0.0000000	0.0
	H II			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000115	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0				0.0
2009	H I			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.035291	0.0000000	0.0
	H II			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000014	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0				0.0
2010	H I			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.034997	0.0000000	0.0
	H II			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000015	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0				0.0
2011	H I			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000770	0.0000000	0.0
	H II			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000045	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0				0.0
2012	H I			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.001008	0.0000000	0.0
	H II			0.00000			0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000044	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0				0.0

(1): Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Cap. 2 Emisiones de la industria de los Minerales. 2.2 Producción de cemento.

(2): Sin considerar descarbonación de carbonatos de magnesio.

(3): Factor de corrección por CKD son los "polvos de horno de cemento" (por su sigla en inglés Clinker Kiln Dust).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Fracción de descarbonatación de Clíinker II

CLINKER II	CaO			MgO			Indicador	Producción Neta	Nivel 2 - Directrices IPCC ⁽¹⁾			TOTAL	
	Fracción (CaO)	Factor (CO ₂ /CaO)	t CO ₂ /t Clk	Fracción (MgO)	Factor (CO ₂ /MgO)	t CO ₂ /t Clk	CaO y MgO		FE descarb ⁽²⁾	FC CKD ⁽³⁾	FE ⁽²⁾ descarb-CKD		
							t CO ₂ /t Clk	t CO ₂ /t Clk					
2005	H I	0.644399	0.7857	0.50631	0.03170	1.0918	0.03461	0.54092	46,210.0	0.506313	1.036358	0.5247218	24,247.4
	H II	0.645063	0.7857	0.50684	0.03214	1.0918	0.03509	0.54192	227,832.0	0.506835	1.000052	0.5068618	115,479.3
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54175	274,042.0			0.5098734	139,726.7
2006	H I	0.00000	0.7857	0.00000	0.00000	1.0918	0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.041049	0.0000000	0.0
	H II	0.650473	0.7857	0.51109	0.03037	1.0918	0.03316	0.54424	226,176.0	0.511086	1.000030	0.5111013	115,598.8
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54424	226,176.0			0.5111013	115,598.8
2007	H I		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.040555	0.0000000	0.0
	H II	0.6504680	0.7857	0.51108	0.02926	1.0918	0.03195	0.54303	379,101.0	0.511082	1.000081	0.5111235	193,767.4
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54303	379,101.0			0.5111235	193,767.4
2008	H I		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.036676	0.0000000	0.0
	H II	0.653544	0.7857	0.51350	0.02897	1.0918	0.03163	0.54513	25,599.0	0.513499	1.000115	0.5135578	13,146.6
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54513	25,599.0			0.5135578	13,146.6
2009	H I		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.035291	0.0000000	0.0
	H II		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000014	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0				0.0
2010	H I		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.00000	0.000000	1.034997	0.0000000	0.0
	H II		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.00000	0.000000	1.000015	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0000				0.0
2011	H I		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.00000	0.000000	1.000770	0.0000000	0.0
	H II		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.00000	0.000000	1.000045	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0000				0.0
2012	H I		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.00000	0.000000	1.001008	0.0000000	0.0
	H II		0.7857	0.00000	0.00000		0.00000	0.00000	0.00000	0.000000	1.000044	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0000				0.0

(1): Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Cap. 2 Emisiones de la industria de los Minerales. 2.2 Producción de cemento.

(2): Sin considerar descarbonatación de carbonatos de magnesio.

(3): Factor de corrección por CKD son los "polvos de horno de cemento" (por su sigla en inglés Clinker Kiln Dust).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Fracción de descarbonatación de Clíinker V.

CLINKER V	CaO			MgO			Indicador	Producción Neta	Nivel 2 - Directrices IPCC ⁽¹⁾			TOTAL	
	Fracción (CaO)	Factor (CO ₂ /CaO)	t CO ₂ /t Clk	Fracción (MgO)	Factor (CO ₂ /MgO)	t CO ₂ /t Clk			CaO y MgO	FE descarb ⁽²⁾	FC CKD ⁽³⁾		FE ⁽²⁾ descarb-CKD
							t CO ₂ /t Clk	t	t CO ₂ /t Clk	t CO ₂ /t Clk	t CO ₂		
2005	H I	0.00000	0.7857	0.00000	0.00000	1.0918	0.00000	0.0	0.000000	1.036358	0.0000000	0.0	
	H II	0.65041	0.7857	0.51104	0.02842	1.0918	0.03103	0.54207	45,645.0	0.511036	1.000052	0.5110628	23,327.5
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54207	45,645.0			0.5110628	23,327.5
2006	H I	0.00000	0.7857	0.00000		1.0918	0.00000		0.0	0.000000	1.041049	0.0000000	0.0
	H II	0.00000	0.7857	0.00000		1.0918	0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000030	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.0000	0.0				0.0
2007	H I	0.00000	0.7857	0.00000		1.0918	0.00000		0.0	0.000000	1.040555	0.0000000	0.0
	H II	0.65237	0.7857	0.51257	0.03157	1.0918	0.03446	0.54704	44,240.0	0.512574	1.000081	0.5126152	22,678.1
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54704	44,240.0			0.5126152	22,678.1
2008	H I	0.65411	0.7857	0.51394	0.02779	1.0918	0.03034	0.54428	55,158.0	0.513944	1.036676	0.5327940	29,387.9
	H II	0.64975	0.7857	0.51052	0.02808	1.0918	0.03065	0.54117	48,712.0	0.510517	1.000115	0.5105763	24,871.2
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54282	103,870.0			0.5223745	54,259.0
2009	H I	0.65176	0.7857	0.51209	0.02696	1.0918	0.02944	0.54153	68,396.0	0.512093	1.035291	0.5301655	36,261.2
	H II	0.00000	0.7857	0.00000	0.00000	1.0918	0.00000	0.00000	0.0	0.000000	1.000014	0.0000000	0.0
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.54153	68,396.0			0.5301655	36,261.2
2010	H I	0.65140	0.7857	0.51181	0.02470	1.0918	0.02697	0.53878	18,151.0	0.511814	1.034997	0.5297265	9,615.1
	H II	0.64950	0.7857	0.51032	0.02406	1.0918	0.02627	0.53659	89,770.0	0.510322	1.000015	0.5103300	45,812.3
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53696	107,921.0			0.5135923	55,427.4
2011	H I	0.651438	0.7857	0.51184	0.02246	1.0918	0.0245227	0.53637	38,544.0	0.511844	1.000770	0.5122380	19,743.7
	H II	0.650143	0.7857	0.51083	0.022195	1.0918	0.0242328	0.53506	37,124.0	0.510827	1.000045	0.5108497	18,964.8
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53573	75,668.0			0.5115569	38,708.5
2012	H I	0.648368	0.7857	0.5094323	0.022345	1.0918	0.0243962	0.53383	36,153.0	0.509432	1.001008	0.5099456	18,436.1
	H II	0.649916	0.7857	0.5106484	0.022802	1.0918	0.024895	0.53554	46,377.0	0.510648	1.000044	0.5106707	23,683.4
	Indicador Promedio y Producción Total Horno I y Horno II -->							0.53479	82,530.0			0.5103531	42,119.4

(1): Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Cap. 2 Emisiones de la industria de los Minerales. 2.2 Producción de cemento.

(2): Sin considerar descarbonatación de carbonatos de magnesio.

(3): Factor de corrección por CKD son los "polvos de horno de cemento" (por su sigla en inglés Clinker Kiln Dust).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Resumen Factor descarbonatación integral en hornos

Año	Horno	Parámetro	Unidades	Tipos de clinker				Nivel 2 - Directrices IPCC ⁽¹⁾				
				Clk I	Clk I BA	Clk II	Clk V	Factor emisión descarbonatación	Producción clinker total	Factor corrección CKD	FE descarbonatación integral incluye CKD	
								FE _{clk} (t CO ₂ /t clk)	Q _{clk} (t)	FC _{CKD}	(FE _{clk} * FC _{CKD}) (t CO ₂ /t clk)	
2005	HI	Fracción en el crudo		0.63690	0.64992	0.64440	0.00					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50042	0.51065	0.50631	0.00	0.50303		1.036358		0.52131784
		Producción Clinker	(t)	259,529.0	68,768.0	46,210.0	0.00		374,507.0			
	HII	Fracción en el crudo		0.63833	0.65215	0.64506	0.65041					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50155	0.51241	0.50684	0.51104	0.50409		1.000052		0.50412037
		Producción Clinker	(t)	1,562,609.0	365,312.0	227,832.0	45,645.0		2,201,398.0			
2006	HI	Fracción en el crudo		0.63863	0.00	0.00	0.00					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50178	0.00	0.00	0.00	0.50178		1.041049		0.52237820
		Producción Clinker	(t)	731,216.0	0.00	0.00	0.00		731,216.0			
	HII	Fracción en el crudo		0.64066	0.65419	0.65047	0.00000					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50338	0.51401	0.51109	0.00000	0.50635		1.000030		0.50636209
		Producción Clinker	(t)	1,318,046.0	370,955.0	226,176.0	0.0		1,915,177.0			
2007	HI	Fracción en el crudo		0.64080	0.00	0.00	0.00					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50348	0.00	0.00	0.00	0.50348		1.040555		0.52390285
		Producción Clinker	(t)	952,519.0	0.00	0.00	0.00		952,519.0			
	HII	Fracción en el crudo		0.64133	0.00	0.65047	0.65237					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50391	0.00	0.51108	0.51257	0.50540		1.000081		0.50543942
		Producción Clinker	(t)	1,656,364.0	0.00	379,101.0	44,240.0		2,079,705.0			
2008	HI	Fracción en el crudo		0.63969	0.00	0.00	0.65411					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50261	0.00	0.00	0.51394	0.50318		1.036676		0.52163178
		Producción Clinker	(t)	1,052,287.0	0.00	0.00	55,158.0		1,107,445.0			
	HII	Fracción en el crudo		0.63890	0.00	0.65354	0.64975					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50199	0.00	0.51350	0.51052	0.50234		1.000115		0.50240213
		Producción Clinker	(t)	1,933,576.0	0.00	25,599.0	48,712.0		2,007,887.0			
2009	HI	Fracción en el crudo		0.63982	0.00	0.00	0.65176					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50272	0.00	0.00	0.51209	0.50330		1.035291		0.52105783
		Producción Clinker	(t)	1,042,621.0	0.00	0.00	68,396.0		1,111,017.0			
	HII	Fracción en el crudo		0.63887	0.00	0.00	0.00					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50197	0.00	0.00	0.00	0.50197		1.000014		0.50197931
		Producción Clinker	(t)	1,839,284.0	0.00	0.00	0.00		1,839,284.0			
2010	HI	Fracción en el crudo		0.64051	0.00	0.00	0.65140					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50326	0.00	0.00	0.51	0.50342		1.034997		0.52103372
		Producción Clinker	(t)	989,884.0	0.00	0.00	18,151.0		1,008,035.0			
	HII	Fracción en el crudo		0.63961	0.00	0.00	0.64950					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50255	0.00	0.00	0.51	0.50288		1.000015		0.50288548
		Producción Clinker	(t)	2,036,512.0	0.00	0.00	89,770.0		2,126,282.0			
2011	HI	Fracción en el crudo		0.63859	0.00	0.00	0.65144					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50175	0.00	0.00	0.51	0.50214		1.000770		0.50252376
		Producción Clinker	(t)	970,304.0	0.00	0.00	38,544.0		1,008,848.0			
	HII	Fracción en el crudo		0.63866	0.00	0.00	0.65014					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50180	0.00	0.00	0.51	0.50197		1.000045		0.50198823
		Producción Clinker	(t)	2,044,552.0	0.00	0.00	37,124.0		2,081,676.0			
2012	HI	Fracción en el crudo		0.63829	0.00	0.00	0.64837					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50152	0.00	0.00	0.51	0.50207		1.001008		0.50257514
		Producción Clinker	(t)	481,074.0	0.00	0.00	36,153.0		517,227.0			
	HII	Fracción en el crudo		0.63961	0.00	0.00	0.64992					
		FE descarbonatación	(t CO ₂ /t Clk)	0.50255	0.00	0.00	0.51	0.50271		1.000044		0.50273551
		Producción Clinker	(t)	2,302,020.0	0.00	0.00	46,377.0		2,348,397.0			

Fuente: Elaboración propia

Con el Factor de Emisión Integral de Descarbonatación en hornos y el Factor de Emisión de Combustible determinado en hornos (Tabla 17), se obtiene la tabla siguiente.

Tabla 24. Resumen de Factores de Emisión de CO₂ en hornos

Descripción		Producción de Clinker (P)	FE CO ₂ combustible sin Penalidad	FE CO ₂ descarbonatación incluye CKD	FE CO ₂ clinker producido
Años	Hornos	(t)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t clk)
2005	H I	374,507.00	0.34683	0.52131784	0.86814292
	H II	2,201,398.00	0.28346	0.50412037	0.78758418
	H	2,575,905.00	0.2926758	0.50662069	0.79929650
2006	H I	872,718.00	0.32384	0.52237820	0.84621778
	H II	1,915,177.00	0.26423	0.50636209	0.77059150
	H	2,787,895.00	0.2828897	0.51137575	0.79426542
2007	H I	952,519.00	0.26310	0.52390285	0.78699966
	H II	2,132,664.00	0.23451	0.50543942	0.73994829
	H	3,085,183.00	0.2433351	0.51113981	0.75447492
2008	H I	1,107,445.00	0.22256	0.52163178	0.74419453
	H II	2,007,887.00	0.21286	0.50240213	0.71525815
	H	3,115,332.00	0.2163066	0.50923793	0.72554452
2009	H I	1,111,017.00	0.23838	0.52105783	0.75943558
	H II	1,839,284.00	0.24366	0.50197931	0.74564236
	H	2,950,301.00	0.2416727	0.50916385	0.75083658
2010	H I	1,080,379.20	0.23725	0.52103372	0.75828200
	H II	2,161,922.40	0.25059	0.50288548	0.75347430
	H	3,242,301.60	0.2461436	0.50893272	0.75507629
2011	H I	1,008,848.00	0.21385	0.50252376	0.71637010
	H II	2,081,676.00	0.25117	0.50198823	0.75315676
	H	3,090,524.00	0.2389854	0.50216304	0.74114840
2012	H I	517,227.00	0.24877	0.50257514	0.75134190
	H II	2,348,397.00	0.23419	0.50273551	0.73692267
	H	2,865,624.00	0.2368187	0.50270657	0.73952525

Fuente: Elaboración propia

Los valores anuales de Factor de Emisión de Dióxido de carbono (FE CO₂) de clinker producido en los hornos, han sido determinados integralmente para la Planta de Atocongo, dicho valor anual ayudará a calcular el Factor de Emisión de CO₂ para cada tipo de cemento que se ilustran de la Tabla 25 a la Tabla 30.

Tabla 25. Factores de emisión Cemento Tipo I

CEMENTO TIPO I										
Año	Caliza	Clk	Yeso	Cemento	Fracción de clinker en el cemento	FE CO ₂ por clinker producido	FE CO ₂ por cemento producido	FE CO ₂ por cemento producido LB	Reducción emisiones CO ₂	Reducción emisiones CO ₂
Unidad	(t)	(t)	(t)	(t)	(t clk/t cem)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t cem)	(t CO ₂ /t cem)	(t)	%
2004	0.0	1,322,883.0	60,234.0	1,383,117.0	0.956451	0.79929650	0.764488	0.764370		
2005	0.0	1,441,054.0	65,322.0	1,506,376.0	0.956636	0.79929650	0.764636			
2006	0.0	1,732,757.0	68,508.0	1,801,265.0	0.961967	0.79426542	0.764057			
2007	35,402.0	1,956,238.0	74,237.0	2,065,877.0	0.946929	0.75447492	0.714434	0.764370	103,161.64	6.533%
2008	47,871.0	2,507,166.0	127,248.0	2,682,285.0	0.934713	0.72554452	0.678176	0.764370	231,197.33	11.276%
2009	53,501.0	2,563,733.0	112,839.0	2,730,073.0	0.939071	0.75083658	0.705089	0.764370	161,841.07	7.756%
2010	61,672.0	2,929,173.0	128,312.0	3,119,157.0	0.939091	0.75507629	0.709086	0.764370	172,440.58	7.233%
2011	73,037.0	2,788,350.0	135,127.0	2,996,514.0	0.930531	0.74114840	0.689662	0.764370	223,863.93	9.774%
2012	87,109.0	3,111,517.0	152,725.0	3,351,351.0	0.928437	0.73952525	0.686602	0.764370	260,626.38	10.174%
	358,592.0			16,945,257.0				0.764370	1,153,130.91	8.903%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Factores de emisión Cemento Tipo IP

CEMENTO TIPO IP											
Año	Caliza	Clk	Puzolana	Yeso	Cemento	Fracción de clinker en el cemento	FE CO ₂ por clinker producido	FE CO ₂ por cemento producido	FE CO ₂ por cemento producido LB	Reducción emisiones CO ₂	Reducción Emisiones CO ₂
Unidad	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t clk/t cem)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t cem)	(t CO ₂ /t cem)	(t)	%
2004	0.0	73,161.0	25,695.0	5,370.0	104,226.0	0.701946	0.799296	0.561063	0.570041		
2005	0.0	78,111.0	25,554.0	5,296.0	108,961.0	0.716871	0.799296	0.572993			
2006	0.0	96,530.0	27,774.0	5,173.0	129,477.0	0.745538	0.794265	0.592155			
2007	2,428.0	95,132.0	33,772.0	5,150.0	136,482.0	0.697030	0.754475	0.525891	0.570041	6,025.65	7.75%
2008	1,321.0	115,900.0	39,864.0	7,353.0	164,438.0	0.704825	0.725545	0.511382	0.570041	9,645.82	10.29%
2009	287.0	115,752.0	36,429.0	5,931.0	158,399.0	0.730762	0.750837	0.548683	0.570041	3,383.12	3.75%
2010	8.0	118,750.0	33,123.0	6,974.0	158,855.0	0.747537	0.755076	0.564448	0.570041	888.58	0.98%
2011	0.0	105,073.0	27,640.0	6,501.0	139,214.0	0.754759	0.741148	0.559388	0.570041	1,483.03	1.87%
2012	0.0	121,882.0	31,460.0	7,260.0	160,602.0	0.758907	0.739525	0.561231	0.570041	1,414.94	1.55%
	4,044.00				917,990.0				0.570041	22,841.13	4.36%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Factores de emisión Cemento Tipo V

CEMENTO V									
Año	Clk	Yeso	Cemento	Fracción de clinker en el cemento	FE CO ₂ por clinker producido	FE CO ₂ por cemento producido	FE CO ₂ por cemento producido LB	Reducción emisiones CO ₂	Reducción emisiones CO ₂
Unidad	(t)	(t)	(t)	(t clk/t cem)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t cem)	(t CO ₂ /t cem)	(t)	%
2004	1,656.0	84.0	1,740.0	0.951724	0.799296	0.760710	0.767771		
2005	17,947.0	699.0	18,646.0	0.962512	0.799296	0.769333			
2006	14,318.0	516.0	14,834.0	0.965215	0.794265	0.766637			
2007	34,556.0	1,305.0	35,861.0	0.963609	0.754475	0.727019	0.767771	1,461.41	7.15%
2008	56,260.0	2,438.0	58,698.0	0.958465	0.725545	0.695409	0.767771	4,247.50	12.69%
2009	78,258.0	3,041.0	81,299.0	0.962595	0.750837	0.722751	0.767771	3,660.06	7.90%
2010	57,451.0	2,489.0	59,940.0	0.958475	0.755076	0.723722	0.767771	2,640.32	7.73%
2011	89,145.0	3,669.0	92,814.0	0.960469	0.741148	0.711850	0.767771	5,190.24	9.81%
2012	134,133.0	5,250.0	139,383.0	0.962334	0.739525	0.711670	0.767771	7,819.51	9.84%
			467,995.0				0.767771	25,019.04	6.96%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Factores de emisión Cemento Tipo II

CEMENTO II									
Año	Clk	Yeso	Cemento	Fracción de clinker en el cemento	FE CO ₂ por clinker producido	FE CO ₂ por cemento producido	FE CO ₂ por cemento producido LB	Reducción emisiones CO ₂	Reducción emisiones CO ₂
Unidad	(t)	(t)	(t)	(t clk/t cem)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t cem)	(t CO ₂ /t cem)	(t)	%
2004	221,643.0	11,932.0	233,575.0	0.948916	0.799296	0.758465	0.759531		
2005	240,316.0	11,761.0	252,077.0	0.953344	0.799296	0.762004			
2006	208,637.0	10,034.0	218,671.0	0.954114	0.794265	0.757820			
2007	307,833.0	16,663.0	324,496.0	0.948650	0.754475	0.715732	0.759531	14,212.59	7.68%
2008	60,509.0	3,650.0	64,159.0	0.943110	0.725545	0.684268	0.759531	4,828.80	13.20%
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00
			388,655.0				0.7595313	19,041.39	6.45%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Factores de emisión Cemento Tipo IBA

CEMENTO IBA									
Año	Clk	Yeso	Cemento	Fracción de Clinker en el cemento	FE CO ₂ por clinker producido	FE CO ₂ por cemento producido	FE CO ₂ por cemento producido LB	Reducción emisiones CO ₂	Reducción emisiones CO ₂
Unidad	(t)	(t)	(t)	(t clk/t cem)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t cem)	(t CO ₂ /t cem)	(t)	%
2004	410,335.0	21,535.0	431,870.0	0.950135	0.799296	0.759440	0.760951		
2005	529,659.0	25,247.0	554,906.0	0.954502	0.799296	0.762930			
2006	396,639.0	17,951.0	414,590.0	0.956702	0.794265	0.759875		0.760951	
2007	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio			0.0				0.7609508	0.00	0.00%

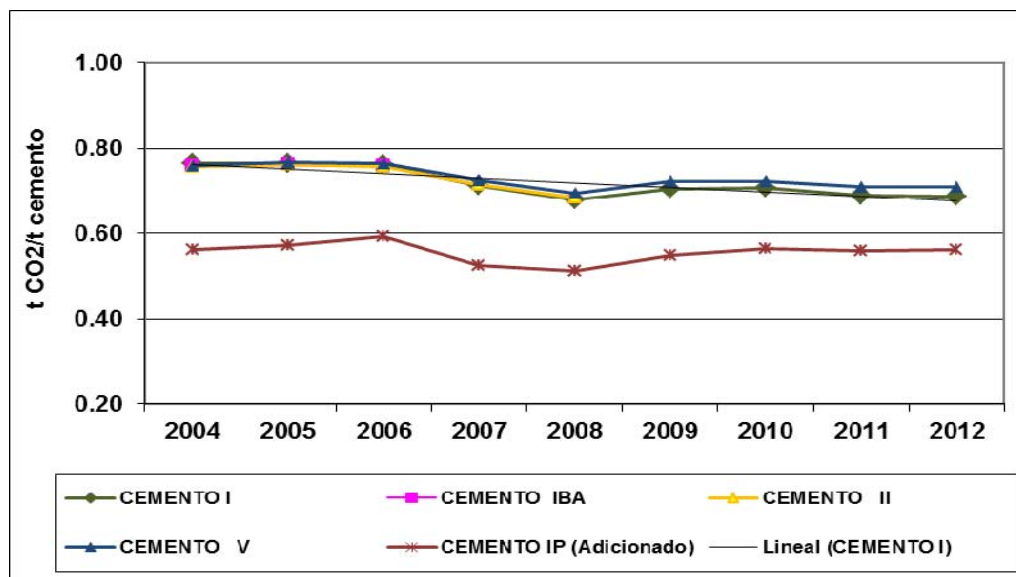
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Resumen de factores anuales de emisión de CO₂.

Factores de emisión de CO ₂ por tonelada de cemento producido (t CO ₂ /t cemento)							
Años	CEMENTO I	CEMENTO IBA	CEMENTO II	CEMENTO V	CEMENTO IP (Adicionado)	FE integral cemento	FE cemento tradicional
2004	0.764488	0.759440	0.758465	0.760710	0.561063	0.752979	0.762735
2005	0.764636	0.762930	0.762004	0.769333	0.572993	0.755458	0.763983
2006	0.764057	0.759875	0.757820	0.766637	0.592155	0.754240	0.762808
2007	0.714434	NP	0.715732	0.727019	0.525891	0.704733	0.714794
2008	0.678176	NP	0.684268	0.695409	0.511382	0.669412	0.678676
2009	0.705089	NP	NP	0.722751	0.548683	0.697230	0.705600
2010	0.709086	NP	NP	0.723722	0.564448	0.702465	0.709361
2011	0.689662	NP	NP	0.711850	0.559388	0.683860	0.690328
2012	0.686602	NP	NP	0.711670	0.561231	0.681917	0.687603

NP: Significa que en el año correspondiente, ese tipo de cemento no fue producido.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Factores anuales de emisión de CO₂ por tipo de cemento.

La Tabla 31 a la Tabla 35 se determina la reducción de emisiones en la fabricación de cemento del año 2007 al año 2012, comparando como año base 2004-2006.

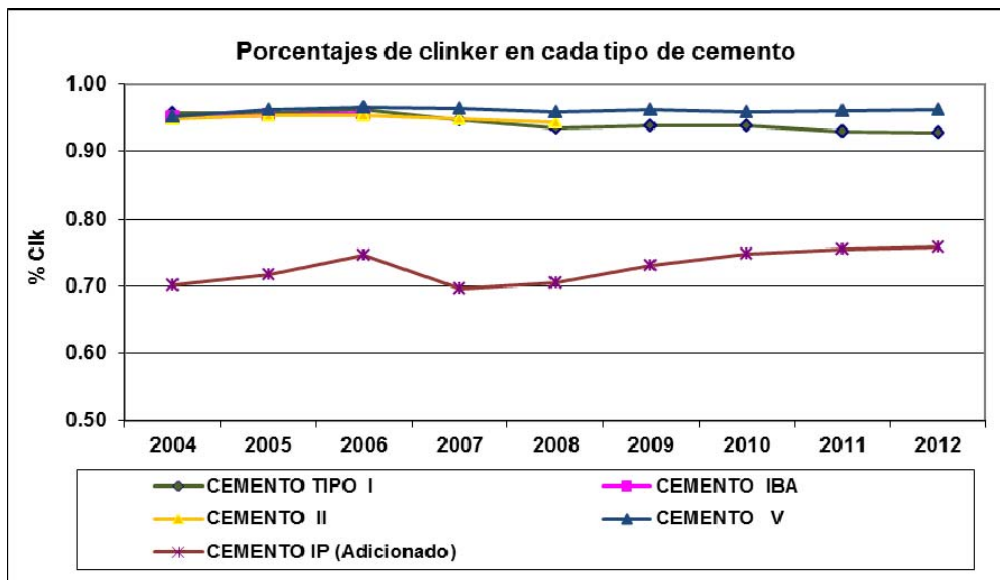
Tabla 31. Porcentaje de clínker en los tipos de cemento.

Porcentaje de clínker en los tipos de cemento (t clk/t cemento)						
Años	CEMENTO I	CEMENTO IBA	CEMENTO II	CEMENTO V	CEMENTO IP (Adicionado)	Δ % Clk
2004	0.956451	0.950135	0.948916	0.951724	0.701946	0.249861
2005	0.956636	0.954502	0.953344	0.962512	0.716871	0.239877
2006	0.961967	0.956702	0.954114	0.965215	0.745538	0.213962
2007	0.946929	NP	0.948650	0.963609	0.697030	0.256033
2008	0.934713	NP	0.943110	0.958465	0.704825	0.240604
2009	0.939071	NP	NP	0.962595	0.730762	0.220071
2010	0.939091	NP	NP	0.958475	0.747537	0.201246
2011	0.930531	NP	NP	0.960469	0.754759	0.190741
2012	0.928437	NP	NP	0.962334	0.758907	0.186478

NP: Significa que en el año correspondiente, ese tipo de cemento no fue producido.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Porcentaje de clínker en los tipos de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

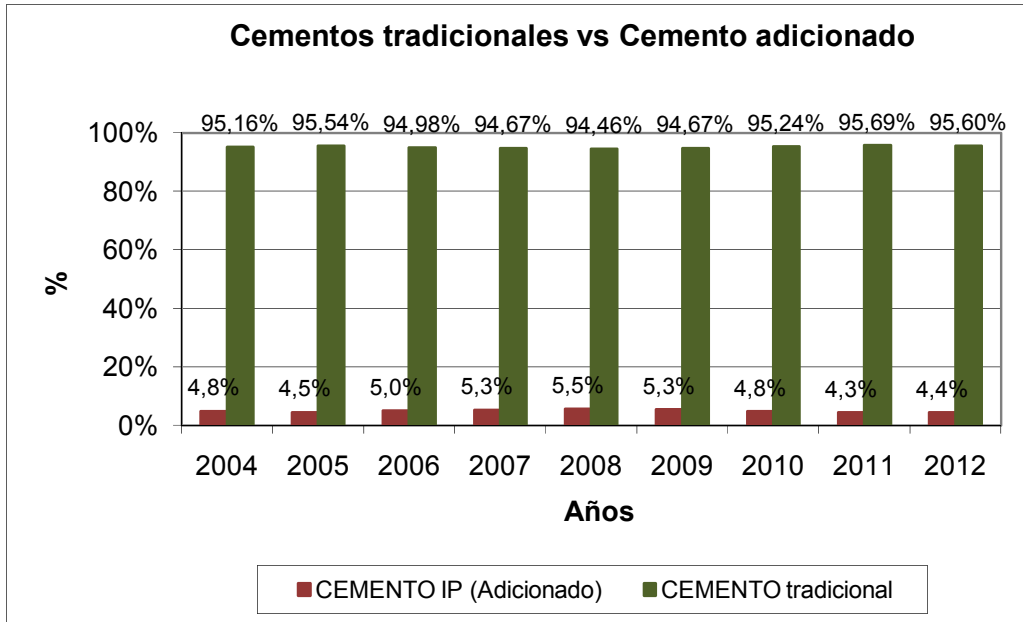
Se observa que existe una diferencia de porcentaje de clínker en cada tipo de cemento tradicional respecto de cemento adicionado (tipo IP), también se observa que dicho porcentaje es inferior solo en el cemento tipo I, debido a la adición de caliza que se utiliza en la elaboración de este tipo de cemento.

Tabla 32. Cantidades y porcentaje de cementos producidos.

Cantidades de cementos producidos (t , %)							
Años	Producción Total	CEMENTO I	CEMENTO IBA	CEMENTO II	CEMENTO V	CEMENTO IP (Adicionado)	CEMENTO tradicional
2004	2,154,528.0	1,383,117.0	431,870.0	233,575.0	1,740.0	104,226.0	2,050,302.0
	100.00%	64.20%	20.04%	10.84%	0.08%	4.84%	95.16%
2005	2,440,966.0	1,506,376.0	554,906.0	252,077.0	18,646.0	108,961.0	2,332,005.0
	100.00%	61.71%	22.73%	10.33%	0.76%	4.46%	95.54%
2006	2,578,837.0	1,801,265.0	414,590.0	218,671.0	14,834.0	129,477.0	2,449,360.0
	100.00%	69.85%	16.08%	8.48%	0.58%	5.02%	94.98%
2007	2,562,716.0	2,065,877.0	0.0	324,496.0	35,861.0	136,482.0	2,426,234.0
	100.00%	80.61%	0.00%	12.66%	1.40%	5.33%	94.67%
2008	2,969,580.0	2,682,285.0	0.0	64,159.0	58,698.0	164,438.0	2,805,142.0
	100.00%	90.33%	0.00%	2.16%	1.98%	5.54%	94.46%
2009	2,969,771.0	2,730,073.0	0.0	0.0	81,299.0	158,399.0	2,811,372.0
	100.00%	91.93%	0.00%	0.00%	2.74%	5.33%	94.67%
2010	3,337,952.0	3,119,157.0	0.0	0.0	59,940.0	158,855.0	3,179,097.0
	100.00%	93.45%	0.00%	0.00%	1.80%	4.76%	95.24%
2011	3,228,542.0	2,996,514.0	0.0	0.0	92,814.0	139,214.0	3,089,328.0
	100.00%	92.81%	0.00%	0.00%	2.87%	4.31%	95.69%
2012	3,651,336.0	3,351,351.0	0.0	0.0	139,383.0	160,602.0	3,490,734.0
	100.00%	91.78%	0.00%	0.00%	3.82%	4.40%	95.60%
TOTALES	19,014,350.0					960,838.0	18,053,512.0
						5.05	94.95

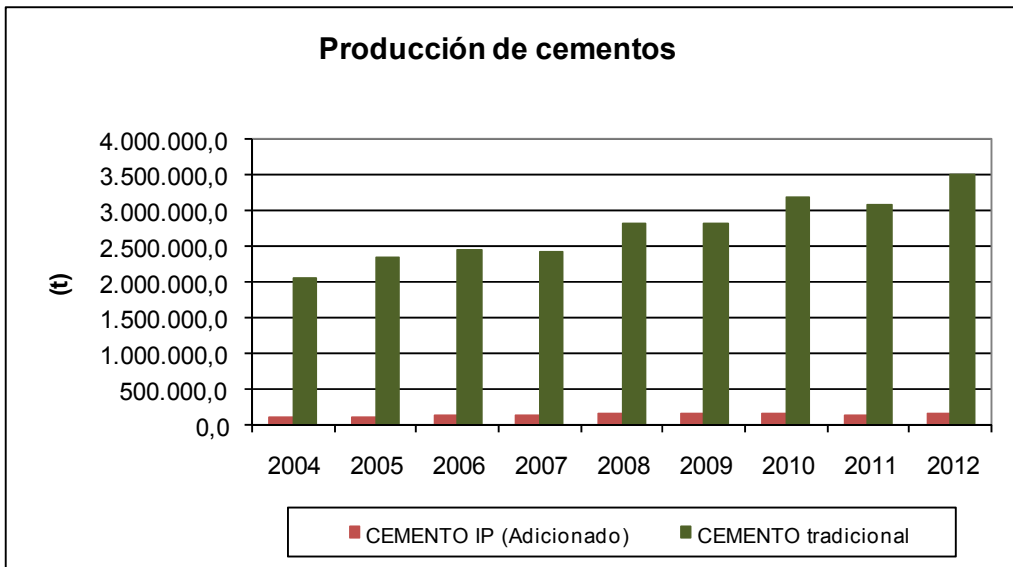
Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Porcentaje de cementos tradicionales vs cementos adicionados.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Producción de cementos tradicionales vs cementos adicionados.



Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 15 y 16 se puede distinguir que los cementos tradicionales son los productos de mayor demanda en la planta Atocongo, representando el 95% de la producción total.

Tabla 33. Reducción de emisiones de CO₂ por tipo de cemento producido.

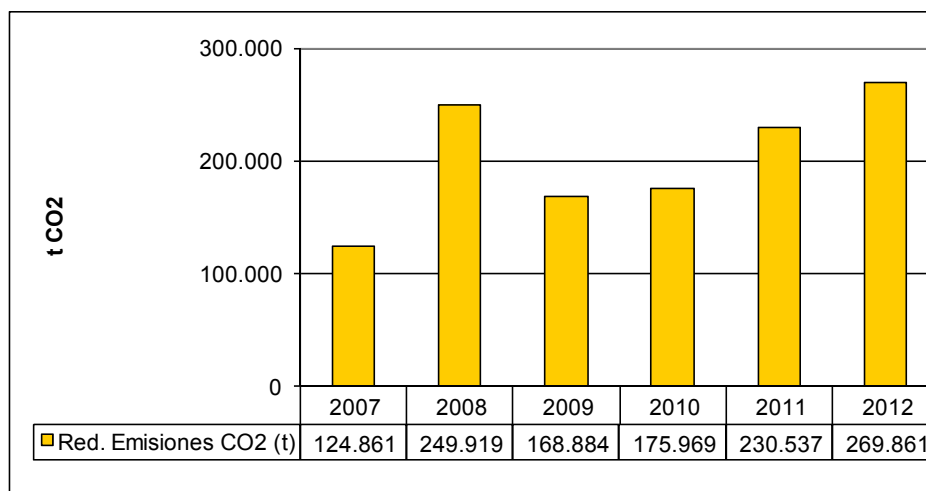
Reducción de emisiones de CO ₂ por cementos producidos (t CO ₂)						
Años	CEMENTO I	CEMENTO IBA	CEMENTO II	CEMENTO V	CEMENTO IP (Adicionado)	TOTAL AÑO (t)
2004	LB	LB	LB	LB	LB	LB
2005	LB	LB	LB	LB	LB	LB
2006	LB	LB	LB	LB	LB	LB
2007	103,161.6	NP	14,212.6	1,461.4	6,025.7	124,861.3
2008	231,197.3	NP	4,828.8	4,247.5	9,645.8	249,919.4
2009	161,841.1	NP	NP	3,660.1	3,383.1	168,884.2
2010	172,440.6	NP	NP	2,640.3	888.6	175,969.5
2011	223,863.9	NP	NP	5,190.2	1,483.0	230,537.2
2012	260,626.4	NP	NP	7,819.5	1,414.9	269,860.8
TOTAL	1,153,130.9	0.0	19,041.4	25,019.0	22,841.1	1,220,032.5

LB: Significa Línea de Base para determinar reducción de emisiones de CO₂.

NP: Significa que en el año correspondiente, ese tipo de cemento no fue producido.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Reducción de emisiones de CO₂ en la elaboración de cemento.



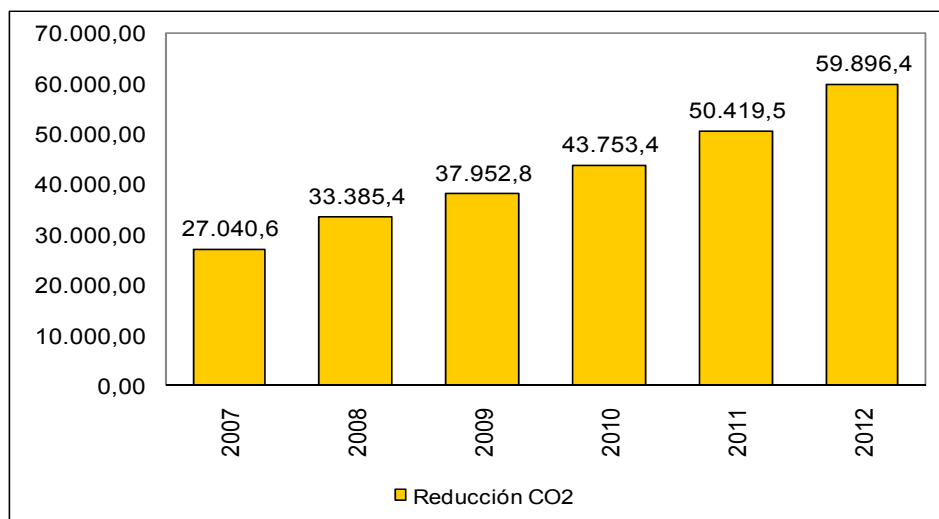
Fuente: Elaboración propia.

Se observa la tendencia creciente en la reducción de emisiones de CO₂ en la elaboración de cements durante los años del estudio, debido principalmente al crecimiento en la demanda del producto, y a los factores de emisión de CO₂ obtenido en cada año evaluado.

Tabla 34. Reducción de emisiones de CO₂ por adición de caliza.

Reducción de emisiones de CO ₂ por adición de caliza (t CO ₂)								
Tipo de Cemento	CEMENTO I	CEMENTO IP (Adicionado)	Total Caliza	FE integral Cemento Tradicional	FE integral Cemento Adicionado	Reducción CO ₂ CEMENTO I	Reducción CO ₂ CEMENTO Adicionado	Reducción CO ₂ total caliza
Años	Caliza (t)	Caliza (t)	Caliza (t)	(t CO ₂ /t cem)	(t CO ₂ /t cem)	t	t	t
2004	0.00	0.00	0.00	0.7627	0.561063	0.00	0.00	0.00
2005	0.00	0.00	0.00	0.7640	0.572993	0.00	0.00	0.00
2006	0.00	0.00	0.00	0.7628	0.592155	0.00	0.00	0.00
2007	35,402.00	2,428.00	37,830.00	0.7148	0.525891	25,305.12	1,276.86	27,040.64
2008	47,871.00	1,321.00	49,192.00	0.6787	0.511382	32,488.88	675.54	33,385.41
2009	53,501.00	287.00	53,788.00	0.7056	0.548683	37,750.29	157.47	37,952.80
2010	61,672.00	8.00	61,680.00	0.7094	0.564448	43,747.74	4.52	43,753.42
2011	73,037.00	0.00	73,037.00	0.6903	0.559388	50,419.51	0.00	50,419.51
2012	87,109.00	0.00	87,109.00	0.6876	0.561231	59,896.43	0.00	59,896.43
TOTAL	358,592.0	4,044.0	362,636.0			249,607.99	2,114.39	252,448.2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Reducción de emisiones de CO₂ por adición de caliza en el cemento

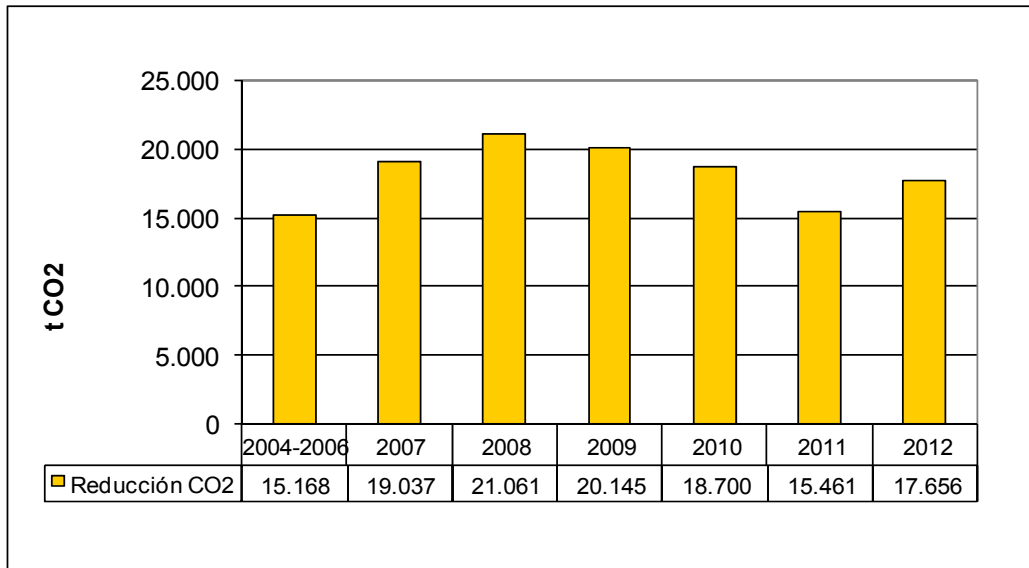
Fuente: Elaboración propia.

La figura 18 muestra un comportamiento creciente en la reducción de emisiones de CO₂ por la adición de caliza, influenciado especialmente por la elaboración de cemento tipo I y en menor grado por el cemento puzolánico tipo IP.

Tabla 35. Reducción de emisiones de CO₂ por elaboración de cemento adicionado.

Reducción de emisiones de CO ₂ por elaboración de cemento adicionado (t CO ₂)						
Años	CEMENTO IP				FE integral cemento (t CO ₂ /t cem)	Reducción CO ₂ (t)
	Cemento IP (t)	Caliza (t)	Puzolana (t)	Total adiciones		
2004	104,226.0	0.0	25,695.0	25,695.0	0.56106	14,416.5
2005	108,961.0	0.0	25,554.0	25,554.0	0.57299	14,642.3
2006	129,477.0	0.0	27,774.0	27,774.0	0.59215	16,446.5
2007	136,482.0	2,428.0	33,772.0	36,200.0	0.52589	19,037.3
2008	164,438.0	1,321.0	39,864.0	41,185.0	0.51138	21,061.3
2009	158,399.0	287.0	36,429.0	36,716.0	0.54868	20,145.4
2010	158,855.0	8.0	33,123.0	33,131.0	0.56445	18,700.7
2011	139,214.0	0.0	27,640.0	27,640.0	0.55939	15,461.5
2012	160,602.0	0.0	31,460.0	31,460.0	0.56123	17,656.3
TOTAL	1,260,654.0	4,044.0	281,311.0	285,355.0		112,062.5

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Reducción de emisiones de CO₂ por elaboración de cemento adicionado

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el nivel de reducción de emisiones de CO₂ por la elaboración de cementos adicionados, mostró un ligero incremento del año 2007 al año 2008, luego un decrecimiento debido a la no adición de caliza y la baja producción de este tipo de cemento.

Como se observa, a partir de las tablas 31 a la 35 se ha determinado la reducción de emisiones de CO₂ por la fabricación de cada tipo de cemento del año 2007 al año 2012. El total de estas emisiones asciende a 1 220 032.5 t CO₂.

Se puede diferenciar el aporte importante en la reducción de emisiones de CO₂ logradas con la adición de caliza en reemplazo del clinker en los diferentes tipos de cemento. Estas emisiones suman un total de 252 448.2 t CO₂.

En tanto, la reducción de emisiones conseguida con la fabricación de cementos adicionados (cemento IP), representan 112 062.5 t CO₂ que se ha dejado de emitir al ambiente.

La elaboración de cemento adicionado (cemento Tipo IP) representa un 5% de la producción total de cemento en la Planta Atocongo, durante el periodo de estudio (Tabla 32); sin embargo, origina el 9.2 % de la reducción total de emisiones. Por su

parte, la adición de caliza en la producción de cemento, origina un 20.2% de la reducción total de emisiones de CO₂ conseguidas por la empresa.

3.4 RESULTADOS DE EMISIÓN DE CO₂ POR HORNO

Tabla 36. Cuadro resumen de factores de emisión por horno.

Descripción		Producción clinker	Consumo específico de GN		FE CO ₂ por ton. de clinker proyecto	FE de CO ₂ por ton de clinker LB	Reducción CO ₂ por ton de clinker por uso GN
Año	Horno	(t)	(t GN/t clk)	(m ³ GN/t clk)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t clk)	(t CO ₂ /t clk)
2005	H I	374,507.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
	H II	2,201,398.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
	Total	2,575,905.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
2006	H I	731,216.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00
	H II	1,915,177.00	0.0149	19.7829	0.04212	0.04985	0.0077
	Total	2,646,393.00	0.0108	14.3167	0.04212	0.04985	0.0077
2007	H I	952,519.00	0.0353	46.9833	0.10014	0.11350	0.0134
	H II	2,079,705.00	0.0328	43.6900	0.09309	0.13516	0.0421
	Total	3,032,224.00	0.0336	44.7245	0.09530	0.12836	0.0331
2008	H I	1,107,445.00	0.0596	79.1041	0.16861	0.22062	0.0520
	H II	2,007,887.00	0.0448	59.5281	0.12687	0.19023	0.0634
	Total	3,115,332.00	0.0501	66.4870	0.14171	0.20104	0.0593
2009	H I	1,111,017.00	0.0528	70.2536	0.14921	0.18651	0.0373
	H II	1,839,284.00	0.0267	35.5097	0.07544	0.11124	0.0358
	Total	2,950,301.00	0.0365	48.5935	0.10322	0.13958	0.0364
2010	H I	1,008,035.00	0.0571	76.1705	0.16109	0.19853	0.0374
	H II	2,126,282.00	0.0292	39.0284	0.08255	0.11076	0.0282
	Total	3,134,317.00	0.0382	50.9738	0.10781	0.13899	0.0312
2011	H I	1,008,848.00	0.0740	98.8429	0.20919	0.24868	0.0395
	H II	2,081,676.00	0.0355	47.4204	0.10035	0.12741	0.0271
	Total	3,090,524.00	0.0481	64.2064	0.13588	0.16700	0.0311
2012	H I	517,227.00	0.0592	79.0774	0.16739	0.19380	0.0264
	H II	2,348,397.00	0.0380	50.7528	0.10737	0.15041	0.0430
	Total	2,865,624.00	0.0418	55.8652	0.11821	0.15824	0.0400

GN: significa Gas Natural. FE: significa Factor de Emisión. LB: significa Línea Base.

Fuente: Elaboración propia.

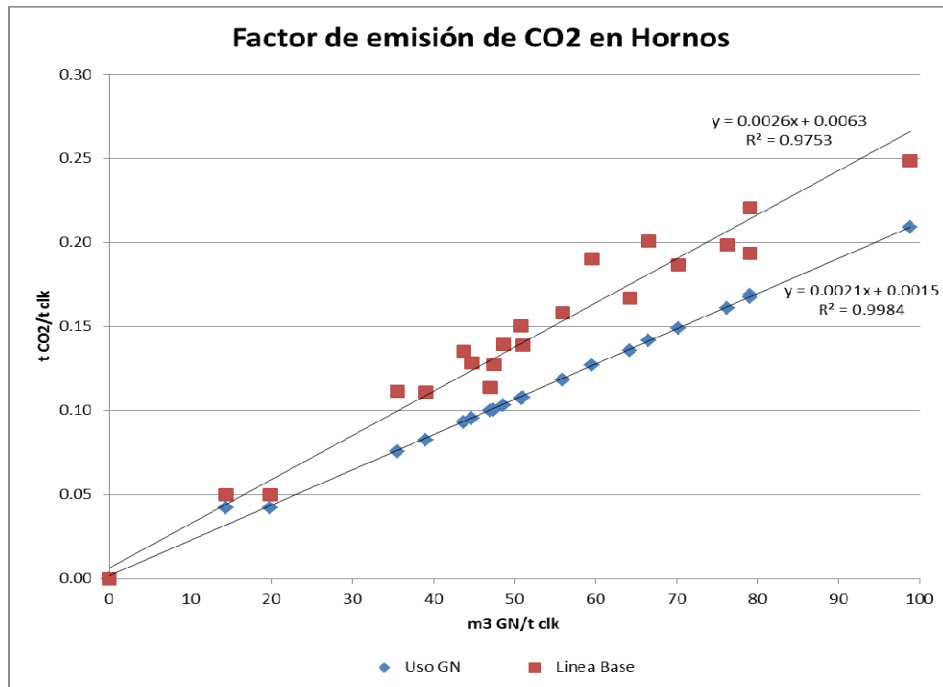
Analizando los valores de los factores de emisión de CO₂, de la Tabla 36, se aprecia que el Horno II genera menos emisiones de CO₂ respecto del Horno I,

debido a una mayor eficiencia en el Horno II en el proceso de fabricación de clínker.

Cabe mencionar que la empresa informó que el Horno I no operó desde julio del año 2012 hasta junio 2013, debido a la parada de planta obligada durante la ejecución del proceso de modernización de su línea de producción. Con la mejora en esta línea se consiguió que su producción se incremente de 3500 a 7500 t clk/día.

En la figura 20 se puede observar el comportamiento de las emisiones de CO₂ de Línea de Base en comparación con la implementación del proyecto, respecto del consumo de gas natural.

Figura 20. Comparación entre emisiones de CO₂ de Línea de Base y por cambio de combustible.



La gráfica muestra que a medida que se incrementa el consumo de gas natural en los hornos, se obtiene una mayor reducción de emisiones de gases de dióxido de carbono (CO₂) respecto de la Línea de Base.

De la tabla 24 se ha seleccionado los factores de emisión registrados en cada horno por consumo de combustible y por la descarbonatación de la caliza

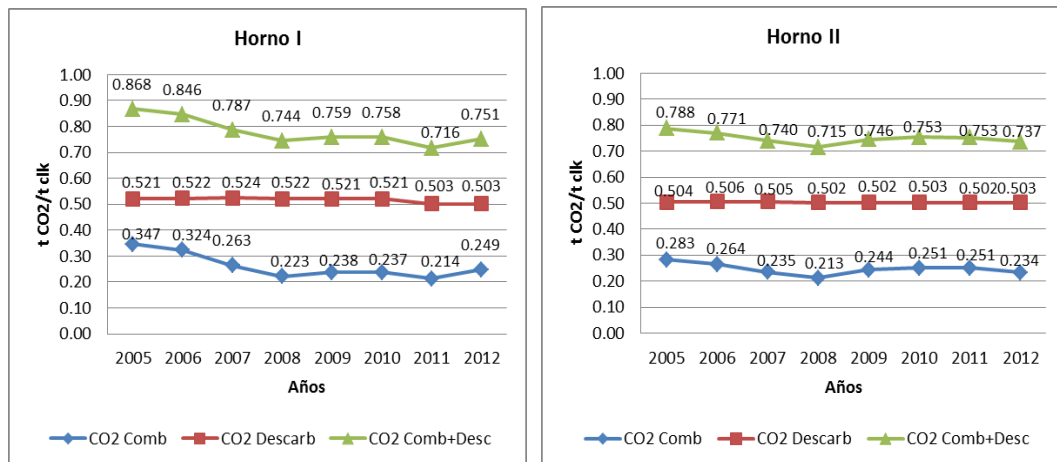
(crudo), a fin de evidenciar el comportamiento de cada horno en las emisiones de CO₂ por cada tonelada de clínker producido.

Tabla 37 Factores de emisión de CO₂ de hornos

Horno I	CO ₂ Comb (t CO ₂ /t clk)	CO ₂ Descarb (t CO ₂ /t clk)	CO ₂ Comb+Desc (t CO ₂ /t clk)	Horno II	CO ₂ Comb (t CO ₂ /t clk)	CO ₂ Descarb (t CO ₂ /t clk)	CO ₂ Comb+Desc (t CO ₂ /t clk)
2005	0.34683	0.52132	0.86814	2005	0.28346	0.50412	0.78758
2006	0.32384	0.52238	0.84622	2006	0.26423	0.50636	0.77059
2007	0.26310	0.52390	0.78700	2007	0.23451	0.50544	0.73995
2008	0.22256	0.52163	0.74419	2008	0.21286	0.50240	0.71526
2009	0.23838	0.52106	0.75944	2009	0.24366	0.50198	0.74564
2010	0.23725	0.52103	0.75828	2010	0.25059	0.50289	0.75347
2011	0.21385	0.50252	0.71637	2011	0.25117	0.50199	0.75316
2012	0.24877	0.50258	0.75134	2012	0.23419	0.50274	0.73692

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Factores de Emisión de CO₂ de hornos



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el comportamiento de los Factores de Emisión de los hornos (HI y HII) en el proyecto está influenciado principalmente por el FE de emisión de CO₂ del combustible en ambos hornos, ya que el FE de emisión de CO₂ por la descarbonatación de la caliza (crudo) permanece constante en el tiempo, se demuestra la influencia del uso de gas natural en la fabricación de clínker con menores emisiones de CO₂ por cada tonelada de clínker producido.

CONCLUSIONES

Luego de la investigación y elaboración del presente trabajo, podemos concluir:

- El cambio de combustible de carbón a gas natural en la fabricación de cemento ha contribuido a una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de aproximadamente 116 820.5 toneladas de CO_{2eq} anuales que se ha dejado de emitir, que hace un total de 700,922.96 t CO_{2eq} del año 2007 al año 2012.
- Los niveles de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero promedio anual de 116 820.5 t CO₂ por cambio de combustible representan una reducción del 24.75% del total de emisiones de CO₂ de Línea de Base promedio anual de 472 081.5 t CO₂.
- Las emisiones de gases de efecto invernadero son mayores cuando el porcentaje de clínker es mayor en la composición del cemento, debido al incremento en el consumo de combustible y de materias primas (caliza) que interviene en la descarbonatación para la fabricación de clínker, generando mayores emisiones de CO₂, por ello los cementos tradicionales registran mayores niveles de emisión de efecto invernadero que los cementos adicionados.
- La producción de cemento en la planta industrial Atocongo tiene un promedio anual de 95% de cementos tradicionales y un 5% de cementos adicionados, que implica mayores niveles de emisión de gases de efecto invernadero por cada tonelada de cemento tradicional producido (0.688 a 0.715 t CO₂/t cem) respecto de los cementos adicionados (0.526 a 0.565 t CO₂/t cem), de acuerdo a los factores de emisión determinados en el período 2007-2012.
- La elaboración de cemento adicionado representa un 5% en la fabricación del total de cemento, sin embargo constituye el 9.2% en la reducción total de

emisiones de gases de efecto invernadero en la elaboración de cemento; mientras que la adición de caliza en los cementos genera una reducción del 20,2% de la emisión de CO₂ por cada tonelada de cemento producido.

- En etapa posterior a la implementación del gas natural en la fabricación de clínker, los mayores niveles de emisión fueron registrados por la elaboración de Cemento tipo IBA entre los años 2004 y 2006; en orden decreciente fueron encontradas las emisiones en la fabricación del Cemento tipo V, Cemento tipo II y finalmente Cemento tipo I (Sol). Esto se puede concluir a partir del análisis de los datos de factores de emisión (t CO₂/t cem) registrados del año 2007 al año 2012 para cada tipo de cemento tradicional: Cemento tipo IBA (0.759 a 0.762), Cemento tipo V (0.695 a 0.727), Cemento tipo II (0.684 a 0.715) y Cemento Tipo I (0.678 a 0.714).
- Los valores de factor de emisión de CO₂ por tonelada de cemento tradicional en la empresa evaluada, muestran una disminución de 0,763 CO₂/ t cem obtenido en la línea base (años 2004 - 2006), a 0,698 CO₂/ t cem correspondiente al final del periodo estudiado (año 2007-2012). Este descenso se origina por el uso de gas natural en la fabricación de clínker y por la adición de caliza en los cementos.
- Con respecto a los cementos adicionados que son fabricados en la empresa evaluada, los valores del factor de emisión de CO₂ por tonelada de cemento también muestran un descenso de 0,575 CO₂/ t cem obtenido en la línea base (años 2004 - 2006), a 0,545 t CO₂/ t cem obtenido al final del periodo estudiado (año 2007-2012). Según el análisis realizado, este descenso también se origina por el uso de gas natural en la fabricación de clínker y en menor medida por la adición de caliza en la elaboración del cemento Atlas.
- No existe regulación ambiental en el país sobre LMP de emisiones de gases de efecto invernadero que obligue a las empresas a mejorar su comportamiento ambiental en esta variable ambiental.

RECOMENDACIONES

En base a lo aprendido durante la elaboración de la presente tesis podemos recomendar:

- Incluir en la estrategia de marketing el ofrecimiento de productos más sostenibles como los cementos adicionados, para revertir el alto porcentaje de fabricación de cementos tradicionales que es del 95% aproximadamente, a fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por cada tonelada de cemento producido y vendido al mercado nacional.
- Evaluar el incremento de adición de caliza hasta un 5% en los cementos tradicionales, a fin de reducir los gases de efecto invernadero, en el período evaluado han llegado al 3% aproximadamente.
- Evaluar la elaboración de nuevos cementos adicionados que permitan el reemplazo de clínker en la composición de cemento tradicional, como son el uso de escoria, cenizas volantes, filler calizo, entre otros que ayuden a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, aunado a una estrategia de marketing social ambiental.
- Elaborar estudios de factibilidad de uso de combustibles alternativos como residuos urbanos, aceites usados, llantas usadas, lodos, entre otros, que permitan reducir las emisiones de CO₂, debido a que estos residuos no se consideran en el cálculo de las emisiones de gases, ya que se evita el uso de rellenos sanitarios o lo que es peor de botaderos que emiten emisiones de metano, que tiene un Potencial de Calentamiento Global 21 veces mayor que el Dióxido de carbono.
- Elaborar el “Estudio de la Huella de Carbono” de la organización, a fin de establecer medidas y acciones que reviertan la emisión de gases de efecto invernadero por la fabricación de cemento.

- Evaluar la implementación de medidas socio-ambientales que permitan neutralizar parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, como son la protección de bosques a través de proyectos de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques (REDD+), entre otros.

- Elaborar una estrategia de “Gestión de Emisiones y Cambio Climático”, “Uso Eficiente de la Energía y Energías Limpias” para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incluyendo las tendencias mundiales luego del vencimiento del plazo de la ejecución del protocolo de Kyoto, como son los NAMAs (Medidas de Mitigación Adecuadas a Nivel Nacional), que se vienen discutiendo actualmente en nuestro país.

- Desarrollar un software que registre (horario, día, mensual, anual) la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por cambio de combustible y por uso de adiciones en la fabricación de cemento.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Aristizábal, J. & Luengas, C.** (2008). Reducción de Emisiones en la Industria Cementera usando Madera Procedente de Plantaciones Dendroenergéticas. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: http://www.umng.edu.co/documents/10162/745273/V1N1_5.pdf
2. **Bauer, M., Belza, C., Betz, R., Chilibuina, B., Gasca, J.R., Gil, V., Muñoz, R., Pineda, L., Reinking, A., Saiz de Bustamante, A., & Toro, F.** (2005). Metodologías para la implementación de los mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica, Guía Latinoamericana del MDL. México DF México. Medellín Colombia. Buenos Aires Argentina. Madrid España. PP 349. [Fecha de consulta junio 2014]. URL disponible en: <http://cambioclimaticohn.org/uploaded/content/category/584455611.pdf>.
3. **CER.** (2001). Contribución de la Industria del Cemento a la Gestión de Residuos en Europa. [en línea]. España. Grupo Hisalba. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: <http://www.istas.ccoo.es/descargas/cemen7.pdf>
4. **Córdova, D.** (2005). La Industria de Cemento en el Perú: Favorables Perspectivas de Crecimiento en el Largo Plazo. Reporte Sectorial Banco Wiese Sudameris. [en línea]. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: http://cdiserver.mba-sil.edu.pe/mbapage/BoletinesElectronicos/BWiese/Reporte-sectorial/20050217_sec_es_cemento.pdf
5. **FICEM.** (2013). Informe Estadístico 2013. Federación Interamericana de Cemento. [en línea]. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: http://www.ficem.org/estadisticas/informe_estadistico_2013.pdf
6. **FICEM.** Co-Procesamiento. Federación Interamericana del Cemento, [en línea]. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: <http://www.ficem.org/ficem/temas-clave/recuperacion-de-residuos.html>

7. **Figueres, C.** (2010). Discurso de inauguración: Sexta Conferencia sobre el Cambio Climático. [en línea]. [Fecha de consulta julio 2014]. URL disponible en: https://unfccc.int/files/portal_espanol/press/statements/application/pdf/100810_speech_cf_australia_esp.pdf
8. **Figueres, C.** (2014). Discurso del debate Cambio Climático: generando la voluntad de actuar. Christiana Figueres: razones morales para actuar. [en línea]. [Fecha de consulta agosto 2014]. URL disponible en: http://unfccc.int/files/portal_espanol/prensa/declaraciones/application/pdf/20140705_stpaulslondon_es.pdf
9. **FONAM.** El Cambio Climático y el Efecto Invernadero. Portal del Fondo Nacional del Ambiente [en línea]. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: <http://www.fonamperu.org/general/mdl/cc.php>
10. **IPCC.** (2006). Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero. Capítulo 2 Emisiones de la Industria de los Minerales [en línea]. Hayama, Japón. Instituto para las Estrategias Ambientales Globales [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/3_Volume3/V3_2_Ch2_Mineral_Industry.pdf
11. **IPCC.** (2008). Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis. Cuarto Informe de Evaluación. [en línea]. Suecia. Primera impresión. IPCC c/o OMM. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
12. **IPCC.** (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to AR5 [en línea]. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sao Paolo, Delhi, Mexico City. IPCC c/o OMM. [Fecha de consulta agosto 2014]. URL disponible en: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf

13. **IPCC.** (2013). Human influence on climate clear, IPCC report says. AR5 WGI 2013/20/Press release [en línea]. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/press_release_ar5_wgi_en.pdf
14. **IPCC.** (2013). Summary to Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Assessment Report 5th [en línea]. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. [Fecha de consulta agosto 2014]. URL disponible en: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf
15. **Martirena, F.** (2004). Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clínker de cemento Pórtland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa. [en línea]. Tesis doctoral. CIDEM, Cuba. Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: IPCC file:///C:/Users/HP/Downloads/resumen_tesis_fmartirena.pdf
16. **MINAM.** (2010). El Perú y el Cambio Climático. Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 1° edición. Perú. Fondo Editorial del Ministerio del Ambiente. PP 200.
17. **MINAM.** (2013). Fortalecimiento de Capacidades en el diseño de NAMAs. Memoria del Taller Nacional [en línea]. [Fecha de consulta julio 2014]. URL disponible en: http://mitigationpartnership.net/sites/default/files/memoria_taller_namas_peru_03-2013.pdf
18. **Naciones Unidas.** (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [en línea]. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

19. **Naciones Unidas.** (1998). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [en línea]. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
20. **NOOA.** (2013). Carbon Dioxide al NOAA's Mauna Loa Observatory reaches new milestone: Tops 400 ppm. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOOA). U.S. Department of Commerce [en línea]. [Fecha de consulta junio del 2014]. URL disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/news/2013/CO2400.html>.
21. **RIOCC.** (2012). Marco global frente al cambio climático. Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático [en línea]. [Fecha de consulta junio del 2014]. URL disponible en: <http://www.lariocc.es/es/marco/>.
22. **Sanjuán, M.A.** (2007). Los Cementos de adición en España del año 2000 al 2005. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). [en línea]. [Fecha de consulta marzo 2014]. URL disponible en: <http://dialnet.uni rioja.es/servlet/articulo?codigo=2502967>
23. **Scotiabank.** (2013). Perspectiva económica mundial y Perú 2014. Banco Scotiabank. [en línea]. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: [www.scotiabank.com.pe/scripts/ Reporte presentaciones.aspx](http://www.scotiabank.com.pe/scripts/Reporte_presentaciones.aspx)
24. **Scripps.** (2014). Science Bulletins: Keeling' Curve. Scripps Institution of Oceanography at University of California, San Diego, United State [en línea]. [Fecha de consulta junio del 2014]. URL disponible en: <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>.
25. **Sedna.** (2010). Causas y efectos del Efecto Invernadero. Calentamiento Global. Problemas relacionados al medio ambiente. Portal planeta Sedna [en línea]. [Fecha de consulta marzo 2014]. URL disponible en: http://www.portalplanetasedna.com.ar/efecto_invernadero.htm

26. **UNESCO.** (2012). Guardarenas: Adaptarse al cambio climático y educar para el desarrollo sostenible. París Francia. PP 146 [en línea]. [Fecha de consulta agosto 2014]. URL disponible en: <http://books.google.com.pe/books?id=b7wrlcDkLUsC&pg=PA17&dq=cambios+en+el+mundo+cambio+clim%C3%A1tico&hl=es&sa=X&ei=12l3VMKUlsfjgwS7uoLwCQ&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false>
27. **WBCSD.** (2002). La Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento. Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible. [en línea]. Inglaterra. [Fecha de consulta abril 2014]. URL disponible en: http://www.wbcscement.org/pdf/agenda_es.pdf

ANEXOS

ANEXO A

GLOSARIO DE SIGLAS USADAS EN EL MERCADO DE CARBONO

**GLOSARIO DE SIGLAS
USADAS EN EL MERCADO DE CARBONO¹
[Castellano / Inglés]**

Siglas [Español]	Acronym [English]
AC	JI
AEC	AIJ
CA	AA
CFC	CFC
CH ₄	CH ₄
CIE	IET
CMCC	UNFCCC
CO ₂	CO ₂
CO ₂ EQ	CO ₂ E
CP	COP
DUE	EUA
EECE	ETS
GEI	GHG
HCFC	HCFC
HFC	HFC
MDL	CDM
N ₂ O	N ₂ O
O ₃	O ₃
PCG	GWP
PECC	ECCP

Siglas [Español]	Acronym [English]
PFC	PFC
PICC	IPCC
PNUMA	UNEP
RCE	CER
RVE	VER
SF ₆	SF ₆
SIGLAS	ACRONYM
UA	RMU
UCA	AAU
URE	ERU
USCUSF	LULUCF
EC	BAU
JEMDL	CDM EB
AICE	IETA
CMR	MAC
PM	PA
ORLCE	QELRO
CV	REC
CV (RU)	ROC
OSACT	SBI

¹ Fuente: <http://www.co2spain.com> diciembre 2012.

<p><i>Aplicación Conjunta AC.</i></p> <p>Es un mecanismo para la transferencia de créditos de emisiones de un país del anexo B a otro. La AC genera UREs sobre la base de proyectos que generan reducciones cuantificables de emisiones. En el ámbito de la ONU se ha traducido como "implementación conjunta" (y así aparece en el Protocolo de Kyoto) aunque en el ámbito europeo se refiere a la "aplicación conjunta".</p>	<p><i>Joint Implementation JI.</i></p> <p>Joint Implementation is a mechanism for transfer of emissions permits from one Annex B country to another. JI generates ERUs on the basis of emission reduction projects leading to quantifiable emissions reductions.</p>
<p><i>Actividades de Ejecución Común AEC.</i></p> <p>El AEC era un programa piloto de la CMCC para analizar los proyectos basados en mecanismos para la reducción de emisiones. Permite a las entidades privadas de un país reducir, secuestrar o evitar emisiones, a través de un proyecto en otro país. La fase piloto terminó en el año 2000. El AEC ha dado lugar al mecanismo de AC establecido en el Protocolo de Kioto (art. 6)</p>	<p><i>Activities Implemented Jointly AIJ.</i></p> <p>AIJ was a UNFCCC pilot program to test project-based mechanisms for emissions reductions. It allowed private entities in one country to reduce, sequester, or avoid emissions through a project in a different country. The pilot phase ended in 2000. AIJ has evolved into JI under the Kyoto Protocol (art.6)</p>
<p><i>Cantidad Atribuida (o Asignada) CA.</i></p> <p>Bajo el Protocolo de Kioto, la cantidad asignada es la cantidad total de GEIs que cada país del anexo B tiene permiso para emitir durante el primer periodo de compromiso (2008-2012). Esta es calculada multiplicando el total de emisiones GEIs en 1990 por cinco (por los cinco años que dura el periodo de compromiso) y entonces por el porcentaje acordado en el anexo B del Protocolo de Kioto (por ejemplo, el 92% para Europa).</p>	<p><i>Assigned Amount AA.</i></p> <p>Under the Kyoto Protocol the assigned amount is the total amount of GHG that each Annex B country is allowed to emit during the first commitment period (2008-2012). This is calculated by multiplying the total country GHG emissions in 1990 by five (for the 5 year commitment period) and then by the percentage is agreed to as listed in Annex B of the Kyoto Protocol (eg., 92% for the EU).</p>
<p><i>Clorofluorocarbono CFC.</i></p> <p>Los CFCs son compuestos orgánicos formados por átomos de carbono, cloro y flúor. Son GEIs regulados en el Protocolo de Montreal (1987) y son utilizados en refrigeración, aires acondicionados, embalajes, aislamientos, disolventes y aerosoles. Al no ser destruidos en la baja atmósfera, los CFCs ascienden a la atmósfera superior donde, en condiciones adecuadas, descomponen el ozono. Los CFCs son la principal causa del agotamiento de la capa de ozono, pero el efecto que estos pueden tener en el clima es incierto. Estos gases están siendo sustituidos por otros compuestos, como HFCs y HCFCs que son GEIs regulados en el Protocolo de Kioto.</p>	<p><i>Chlorofluorocarbon CFC.</i></p> <p>CFCs are organic compounds that contain carbon, chlorine, and fluorine atoms. They are GHGs covered under the 1987 Montreal Protocol and used for refrigeration, air conditioning, packaging, insulation, solvents, or aerosol propellants. As they are not destroyed in the lower atmosphere, CFCs drift into the upper atmosphere where, given suitable conditions, they break down ozone. CFCs are the main cause of stratospheric ozone depletion but the actual effect on the climate is unclear. These gases are being replaced by other compounds, including HCFCs and HFCs, which are GHGs covered under the Kyoto Protocol.</p>
<p><i>Metano CH₄.</i></p> <p>GEI con un PCG de 23. Las principales fuentes de metano son los vertederos, las minas de carbón, los campos de arrozales, los sistemas de gas natural y el ganado (por ejemplo de vacas y ovejas).</p>	<p><i>Methane CH₄.</i></p> <p>GHG with a GWP of 23. The primary sources of methane are landfills, coal mines, paddy fields, natural gas systems and livestock (e.g. Cows and sheep).</p>

<p><i>Comercio Internacional de Emisiones CIE.</i></p> <p>Es un mecanismo flexible establecido por el Protocolo de Kioto el cual permite el comercio de UCAs entre los países del anexo B. Este ajustara las cantidades nacionales de UCAs.</p>	<p><i>International Emissions Trading IET.</i></p> <p>IET is a flexible mechanism of the Kyoto Protocol (art. 17) which allows the trade of Assigned Amount Units (AAUs) among Annex B countries. This will adjust each nations "pool" of AAUs.</p>
<p><i>Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático CMCC.</i></p> <p>El tratado se firmo en 1992 la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro por más de 150 países. EL CMCC es el órgano de gobierno de referencia para las negociaciones internacionales. Su objetivo es la "estabilización de las concentraciones de GEIs en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático". Sin tener la consideración de obligación legal, el tratado contiene compromisos para todas las partes y en particular, compromete a las partes de anexo I a volver al nivel de emisiones que tenia en 1990 para el año 2000. Este tratado entro en vigor en marzo de 1994, con la ratificación de más de 50 países, contando en la actualidad con la ratificación de 160 países. En marzo de 1995 la CMCC celebro su primera CP en Berlín. Tiene su secretariado en Bonn, Alemania.</p>	<p><i>United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC.</i></p> <p>A treaty signed at the 1992 Earth Summit in Rio de Janeiro by more than 150 countries. It is an overall framework guiding the international climate negotiations. Its ultimate objective is the "stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere al a level that would prevent dangerous anthropogenic (human-induced) interference with the climate system". While no legally binding level of emissions is set, the treaty states an aim by Annex I countries to return these emissions to 1990 levels by the year 2000. The treaty took affect in March 1994 upon the ratification of more than 50 countries; a total of some 160 nations have now ratified. In march 1995, the UNFCCC held the first session of the COP in Berlin. Its secretariat is based in Bonn, Germany</p>
<p><i>Conferencia de las Partes CP.</i></p> <p>Es el órgano supremo de la CMCC. Comprende a los más de 170 países que han ratificado la Convención. La CP-1 tuvo lugar en Berlín en 1995 y se espera que se sigan celebrando anualmente. La función de la CP es promover y revisar la implementación de la convención. Los compromisos existentes serán revisados periódicamente a la luz de los objetivos de la convención, nuevos avances científicos y efectividad de los programas nacionales sobre cambio climático.</p>	<p><i>Conference of the Parties COP.</i></p> <p>The supreme body of the UNFCCC. It compromises more than 170 nations that have ratified the Convention. The first session of the Conference (COP-1) was held in Berlin in 1995 and it is expected to continue meeting on a yearly basis. The COP-10 is to be held in Buenos Aires in December, 2004. The COP's role is to promote an review the implementation of the Convention. It will periodically review existing commitments in light of the Convention's objective, new scientific findings, and the effectiveness of national climate change programs.</p>
<p><i>Derechos de Emisión de la Unión Europea DUE.</i></p> <p>Son los derechos de emisión creados por el EECE, en unidades de 1 tonelada.</p>	<p><i>European Union Allowance EUA.</i></p> <p>The units of CO₂ emissions, in tons, allocated under ETS.</p>
<p><i>Dióxido de Carbono CO₂.</i></p> <p>El dióxido de carbono o anhídrido carbónico, es un gas que existe en la naturaleza y también aparece como resultado de la quema de combustibles fósiles o biomasa, así de los cambios en el uso del suelo y otros procesos industriales. El CO₂ es el principal GEIs antropogénico que afecta a la temperatura de la tierra y el gas de referencia mediante el cual se miden los demás GEIs.</p>	<p><i>Carbon Dioxide CO₂.</i></p> <p>A naturally occurring gas, CO₂ is also a by-product or burning fossil fuels and biomass, as well as land use changes and other industrial processes. CO₂ is the principal anthropogenic GHG that affects the earth's temperature and the reference gas against which other GHGs are measured.</p>

<p><i>Equivalencia de Dióxido de Carbono CO₂eq</i></p> <p>Es una unidad de medida utilizada para convertir otros GEIs según su PCG. CO₂ es el gas de referencia en relación al cual se miden los demás GEIs.</p>	<p><i>Carbon Dioxide Equivalent CO₂e.</i></p> <p>This is a measurement unit used to convert other GHGs according to their GWP. CO₂ is the reference gas against which other GHGs are measured.</p>
<p><i>Esquema Europeo de Comercio de Emisiones EECE.</i></p> <p>La Directiva 2003/87/CE establece un régimen para el comercio de derechos emisión de gases de efecto invernadero en la Unión Europea, conocida como el EECE. El régimen estaba ampliado para incluir vínculos a otros esquemas, incluyendo los créditos por los mecanismos de Kioto.</p>	<p><i>Emissions Trading Scheme ETS.</i></p> <p>The regime for trading greenhouse gas emissions in Europe established by Directive 2003/87/CE is known as ETS. This scheme was modified to include links to other emissions trading schemes, including credits issued under the Kyoto mechanisms.</p>
<p><i>Gases de Efecto Invernadero GEI.</i></p> <p>Gases en la atmósfera que absorben y re-emiten radiaciones infrarrojas, contribuyendo así potencialmente al cambio climático. Estos gases existen tanto por naturaleza, como por consecuencia de la actividad humana. El GEI más abundante es el vapor de agua aunque generalmente denominamos GEIs a los seis gases regulados en el Protocolo de Kioto. Estos gases son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido dinitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Los tres primeros son los principales GEIs. Aunque existen GEIs mucho más dañinos y comparativamente con un alto PCG, son emitidos en cantidades mucho más pequeñas y por lo tanto su efecto es menor.</p>	<p><i>Greenhouse Gases GHG.</i></p> <p>Gases in the earth's atmosphere that absorb and re-emit infrared radiation and therefore contribute to potential climate change. These gases occur through both natural and human-influenced processes. The major GHG is water vapor and in most contexts GHGs are the six gases, regulated under the Kyoto Protocol, produced by human activities, and determined to be the main contributors to the greenhouse effect. Those gases are: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), hydrofluorocarbons (HFC's), perfluorocarbons (PFC's) and sulfur hexafluoride (SF₆). The first three ones are the principal GHGs. Although they are more potent GHGs and tend to have comparatively high GWPs, they are emitted in such small quantities that their overall impact is currently small.</p>
<p><i>Hidroclorofluorcarbono HCFC.</i></p> <p>Compuestos formados por átomos de hidrogeno, fluor, cloro y carbono. Aunque son detrimentos de la capa de ozono, son menos dañinos para la capa de ozono estratosférica que los CFCs. Han sido introducidos temporalmente como sustitutos de los CFCs y son también GEIs.</p>	<p><i>Hydrochlorofluorocarbon HCFC.</i></p> <p>Compounds containing hydrogen, fluorine, chlorine and carbon atoms. Although ozone depleting substances, they are less potent at destroying stratospheric ozone than CFCs. They have been introduced as temporary replacements for CFCs and are also GHGs.</p>
<p><i>Hidrofluorocarbonos HFC.</i></p> <p>Compuestos que contienen átomos de hidrogeno, fluor y carbono. Los HFCs se encuentran entre los 6 GEIs regulados por el Protocolo de Kioto. Los HFCs han remplazado a los CFCs y HCFCs, ambos detrimentos de la capa de ozono, utilizados principalmente en equipos de refrigeración y aire acondicionado. Estos gases son también inadvertidamente emitidos en algunos procesos de fabricación. Su PCG es de 1.300 a 11.700 veces mayor que la del CO₂ (en un periodo de 100 años) dependiendo del HFC que se trate.</p>	<p><i>Hydrofluorocarbons HFC.</i></p> <p>Compounds containing only hydrogen, fluorine and carbon atoms. HFCs are included in the basket of six GHG controlled by the Kyoto Protocol. HFCs have replaced ozone-depleting CFCs and HCFCs for use primarily in refrigeration and air conditioning equipment. These gases are also inadvertently emitted during some manufacturing processes. Their GWPs range from 1,300 to 11,700 times that of CO₂ (over a 100 year time horizon), depending on the HFC.</p>

<p><i>Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL.</i></p> <p>El MDL es un mecanismo establecido en el artículo 12 del Protocolo de Kioto que permite a las partes incluidas en el anexo I (mencionadas en el anexo B del Protocolo de Kioto) financiar proyectos de reducción de emisiones en los países no incluidos como parte en el anexo I. Las partes del anexo I recibirán a cambio RCEs. El MDL intenta cumplir dos objetivos: ayudar al desarrollo sostenible del país de acogida y alcanzar el objetivo último de la convención, y en segundo lugar dar cumplimiento a los compromisos cuantificados de limitación y reducción de emisiones.</p>	<p><i>Clean Development Mechanism CDM.</i></p> <p>The CDM is a mechanism established by Article 12 of the Kyoto Protocol to enable Annex I Parties (listed in Annex B of the Kyoto Protocol) to finance emission reduction projects in the countries of non-Annex I Parties. These Annex I Parties will receive CERs for doing so. The CDM is designed to meet two main objectives: to address the sustainable development needs of the host country, and to increase the opportunities available to Parties to meet their reduction commitments.</p>
<p><i>Oxido Dinitroso N₂O.</i></p> <p>GEI con un PCG de 296. Tiene su origen en la quema de combustibles fósiles y fabricación de fertilizantes.</p>	<p><i>Nitrous Oxide N₂O.</i></p> <p>GHG with a GWP of 296. Results from the burning fossil fuels and the manufacture or fertilizer.</p>
<p><i>Ozono O₃.</i></p> <p>El ozono se encuentra en dos capas de la atmósfera, en la estratósfera y en la tropósfera. Es una forma en la que el oxígeno se encuentra de forma natural en la estratósfera, formando una capa protectora de las radiaciones ultravioletas (dañinas para la salud humana y el medio ambiente). En la tropósfera lo encontramos en forma de contaminación a consecuencia de la oxidación del nitrógeno y la reacción de los hidrocarburos a la luz del sol.</p>	<p><i>Ozone O₃.</i></p> <p>Ozone is found in two layers of the atmosphere, the stratosphere and the troposphere. It is a form of oxygen found naturally in the stratosphere that provides a protective layer shielding the earth from ultraviolet radiation (harmful health effects on humans and the environment). In the troposphere this is found at ground level/troposphere as a form of air pollution that is produced when nitrogen oxides and hydrocarbons react in sunlight.</p>
<p><i>Potencial Calentamiento Global PCG.</i></p> <p>El PCG es un índice para definir la contribución relativa de cada GEIs al calentamiento de la Atmósfera. Un GEIs puede calcularse solo para específicos periodos de tiempo (Ej.: de 20 a 500 años) y para niveles dados de concentración de GEIs (Ej.: actual). Se tienen en cuenta tanto los efectos directos como los indirectos (efectos indirectos incluyen cambios en la composición química de la atmósfera, tales como formación de ozono y cambios de vapor de agua en al estratosfera). Al CO₂ se le ha asignado un PCG de 1, en relación al cual se comparan el resto de GEIs. Por ejemplo el metano (CH₄) tiene un PCG actualmente estimado en 23 veces más que la de CO₂ para un periodo de 100 años, con los que decimos que el CH₄ tiene un PCG de 23.</p>	<p><i>Global Warming Potential GWP.</i></p> <p>It is an index to define the relative contribution of each GHG to atmospheric warming. A GWP can only be calculated for specified time horizons (e.g. 20 to 500 years) and for given GHG concentration levels (e.g. current). Both direct and indirect effects are considered (indirect effects include changes in atmospheric chemistry such as ozone formation and changes in stratospheric water vapor). CO₂ has been assigned a GWP of 1, against which all other GHGs are compared. For example, methane (CH₄) has a GWP that is currently estimated to be about 23 times greater than that of CO₂ over a 100 year time horizon and thus CH₄ has a GWP of 23,</p>
<p><i>Programa Europeo sobre el Cambio Climático PECC.</i></p> <p>Programa emprendido en junio del 2000 por la Comisión Europea. Su objetivo es definir y desarrollar todos los elementos necesarios de la estrategia de la UE para implementar el Protocolo de Kioto.</p>	<p><i>European Climate Change Program ECCP.</i></p> <p>Program launched in June 2000 by the European Commission. Its goal is to identify and develop all the necessary elements of a EU strategy to implement the Kyoto Protocol.</p>

<p><i>Perfluorocarbono PFC.</i></p> <p>Grupo de sustancias químicas creadas por el hombre, compuestas por carbono y fluor. Los perfluorocarbonos fueron creados e introducidos junto con los HFCs como alternativa a los CFCs y HCFCs, ambas sustancias detrimentos de la capa de ozono. Los PFCs (predominantemente CF₄ y C₂F₆) son emitidos como co-productos en procesos industriales y también son utilizados en la industria manufacturera. No dañan la capa de ozono estratosférica, pero son GEIs de gran potencia. El CF₄ tiene un PCG de 6.500 y el C₂F₆ de 9.200.</p>	<p><i>Perfluorocarbon PFC.</i></p> <p>A group of human-made chemicals composed of carbon and fluorine only. Perfluorocarbons were developed and introduced along with HFCs as an alternative to ozone depleting CFC's and HCFC's. PFCs (chiefly CF₄ and C₂F₆) are emitted as by-products of industrial processes and also used in manufacturing. They do not harm the stratospheric ozone layer, but they are powerful GHGs. CF₄ has a GWP of 6,500 and C₂F₆ has a GWP of 9,200.</p>
<p><i>Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático PICC.</i></p> <p>El PICC ha sido creado por la Organización Mundial de Clima e el PNUMA para evaluar la información científica, técnica y socio-económica relevante para el cambio climático, sus potenciales impactos y opciones para su adaptación y mitigación.</p>	<p><i>Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC.</i></p> <p>The IPCC has been established by WMO and UNEP to assess scientific, technical and socio-economic information relevant for the understanding of climate change, its potential impacts and options for adaptation and mitigation.</p>
<p><i>Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. PNUMA.</i></p> <p>Su misión consiste en proporcionar las directrices necesarias y animar a la sociedad a cuidar el medioambiente inspirando, informando y permitiendo, tanto a las naciones como a la población, el mejorar su calidad de vida sin comprometer la de las generaciones futuras.</p>	<p><i>United Nations Environmental Program UNEP.</i></p> <p>Its mission is to provide leadership and encourage partnership in caring for the environment by inspiring, informing, and enabling nations and people to improve their quality of life without compromising that of future generations.</p>
<p><i>Unidades de Reducciones Certificadas de Emisiones RCE.</i></p> <p>Los RCEs son créditos generados a través de un MDL. Los países del anexo I que invierten en proyectos de MDL pueden obtener RCEs por la cantidad reducida de emisiones de GEIs conseguida con la aplicación de un MDL, habiéndose demostrado previamente la existencia de ciertos criterios de elegibilidad. Por ejemplo, los RCEs creados por un MDL solo se reconocerán cuando: (1) las reducciones de GEIs sean adicionales a cualquiera que ocurriría en ausencia del proyecto, (2) se cumplan los requisitos establecidos por el país de acogida y (3) se pague la adaptación que conlleva la implantación de un MDL.</p>	<p><i>Certified Emissions Reductions CER.</i></p> <p>CERs are permits generated through the CDM. Annex I investors in CDM projects can earn CERs for the amount of greenhouse emission reductions achieved by their CDM projects, provided they meet certain eligibility criteria. For example CERs generated under the CDM will only be recognized when: (1) the reductions of greenhouse gas emissions are additional to any that would occur in the absence of the certified project (Additionality), (2) requirements of the Host Country are met and (3) the CDM Adaptation charge is paid.</p>
<p><i>Reducciones Verificadas de Emisiones RVE.</i></p> <p>RVEs son créditos de reducción de emisiones que han sido verificadas por un tercero. En los mercados, refiere a créditos que no han cumplido con todos los requisitos de MDL o AC.</p>	<p><i>Verified Emission Reductions VER.</i></p> <p>VERs are emission reduction credits that have been verified by an independent third party. In the markets, VERs are credits which are not expected to become CERs or ERUs.</p>

<p><i>Hexafluoruro de Azufre SF₆.</i></p> <p>Gas incoloro, soluble en alcohol, éter y ligeramente en agua. Es un GEI muy dañino y está incluido dentro de los 6 gases regulados en el protocolo de Kioto. Se usa en industria pesada para aislar equipos de alto voltaje y para ayudar en la manufactura industrial de sistemas de cableado. Su PCG es 22.200.</p>	<p><i>Sulfur Hexafluoride SF₆.</i></p> <p>A colorless gas soluble in alcohol and ether, slightly soluble in water. A very powerful GHG and it is included in the basket of the six GHGs to be curbed under the Kyoto Protocol. It is used in heavy industry to insulate high-voltage equipment and to assist in the manufacturing of cable-cooling systems. Its GWP is 22,200</p>
<p><i>Termino Siglas.</i></p> <p><i>Definición</i></p>	<p><i>Term Acronym.</i></p> <p><i>Meaning</i></p>
<p><i>Unidades de Absorción UA.</i></p> <p>Las UAs son unidades nuevas que se crearon en el CP7, representan créditos sumideros generados por los países del anexo I, incluidos los obtenidos a través del mecanismo de AC. Los RMUs solo pueden ser utilizados para alcanzar los objetivos de emisiones durante el periodo de compromiso en el que se generaron, no pudiendo ser guardadas para su posterior uso.</p>	<p><i>Removal Units RMU.</i></p> <p>RMUs are new unit created at COP7, representing sinks credits generated in Annex I countries, including through Joint implementation. RMUs can only be used to meet emissions targets in the commitment period in which they were generated, and cannot be banked for future use.</p>
<p><i>Unidades de Cantidades Atribuidas UCA.</i></p> <p>Las UCA son las CA divididas en unidades medibles. Una UCA es igual a 1 tonelada de emisiones de CO₂eq calculadas utilizando el PCG.</p>	<p><i>Assigned Amount Units AAU.</i></p> <p>The AAU are the AA broken down into measurable units. Each AAU is equal to 1 ton of CO₂e emissions calculating using the GWP.</p>
<p><i>Unidades de Reducción de Emisiones URE.</i></p> <p>Según el Protocolo de Kioto, es una cantidad específica de reducción de emisiones de GEIs obtenida mediante un proyecto AC. Equivale a 1 tonelada de emisiones de CO₂ utilizando para el cálculo el PCG.</p>	<p><i>Emissions Reduction Units ERU.</i></p> <p>Under the Kyoto Protocol, it is a specified amount of GHGs emissions reductions achieved through a JI project. An ERU is equal to 1 ton (metric ton) of CO₂e emissions calculating using GWP.</p>
<p><i>Utilización del Suelo, Cambio de la Utilización del Suelo y Forestación USCUSF.</i></p> <p>Fue incluido en el Protocolo de Kioto para tomar en consideración ciertas actividades humanas inducidas que eliminan los GEIs de la atmósfera, también conocidos como sumideros de carbono. Mientras que el artículo 3,3 esta limitado a la forestación, reforestación y deforestación, el artículo 3,4 establece que actividades humanas inducidas adicionales en los suelos agrícolas y las categorías incluidas en el USCUSF, pueden ser tenidas en cuenta por las partes del anexo I para compensar sus objetivos de emisiones.</p>	<p><i>Land Use, Land Use Change and Forestry. LULUCF.</i></p> <p>The land-use, land-use change and forestry (LULUCF) sector was includes under the Kyoto Protocol to take into consideration certain human-induced activities that remove greenhouse gases from the atmosphere, also known as carbon "sinks". While Article 3,3 is limited to afforestation, reforestation an deforestation, Article 3,4 states that additional human-induced activities in the agricultural soils and LULUCF categories may be added by Annex I parties to offset their emission targets.</p>

<p><i>Escenario de Continuidad.</i></p> <p>Un escenario de continuidad al que también a menudo nos referimos como "panorama de partida", es una política neutral de referencia para futuras emisiones. Ej.: niveles de proyección de futuras emisiones en ausencia de cambios en la actual normativa, economía y tecnología existente.</p>	<p><i>Business as Usual Scenario BAU.</i></p> <p>A business-as-usual (BAU) scenario, often referred to as the "baseline scenario" is a policy neutral reference case of future emissions, i.e. Projections of future emission levels in the absence of changes in current policies, economics and technology.</p>
<p><i>Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio</i></p> <p>La Junta Ejecutiva del MDL depende del CP del Protocolo de Kioto. Registra las actividades convalidadas como proyectos MDL.</p>	<p><i>Clean Development Mechanism Executive Board CDM EB.</i></p> <p>The CDM EB is accountable to the COP to the Kyoto Protocol. It registers validated project activities as CDM projects.</p>
<p><i>Asociación Internacional para el Comercio de Emisiones.</i></p> <p>Es una organización con fines no lucrativos creada en junio de 1999, con el objetivo de establecer el marco funcional internacional para el comercio de las reducciones de GEIs.</p>	<p><i>International Emissions Trading Association IETA.</i></p> <p>It is a non-profit organization created in June 1999 to establish a functional international framework for GHGs emission reductions.</p>
<p><i>Coste Marginal de la Reducción</i></p> <p>Es el coste que conlleva reducir una unidad adicional de emisiones. El conjunto de los costes marginales de un número de proyectos o actividades definen la curva de coste marginal de disminución. Cuanto mas baja sea esta curva, mas efectivas son las estrategias de reducción de emisiones llevadas a cabo por la empresa.</p>	<p><i>Marginal Abatement Cost. MAC.</i></p> <p>The marginal abatement cost is the cost of reducing emissions by one additional unit. Aggregates marginal costs over a number of projects or activities define the marginal abatement cost curve. The lower the MAC curve, the more effective the firm's emission reduction strategies.</p>
<p><i>Políticas y Medidas.</i></p> <p>En el ámbito de la CMCC, se entiende por políticas aquellas acciones que pueden ejecutar ordenar un gobierno (a menudo junto con empresas e industrias dentro de sus propios países además de con otros países) para acelerar el uso y aplicación de medidas encaminadas a frenar las emisiones de GEIs. Las medidas son procesos, tecnológicos y practicas utilizadas para aplicar políticas que si emplean pueden reducir las emisiones GEIs, por debajo de niveles futuros anticipados. Entre los ejemplos pueden mencionarse los impuestos sobre carbono u otras energías, normas para mejorar la eficiencia de combustibles en automóviles etc. Se entiende por políticas "comunes o coordinadas" o "armonizadas" las adoptadas de forma conjunta por las partes.</p>	<p><i>Policies & Measures PAM.</i></p> <p>In UNFCCC parlance, policies are actions that can be taken and/or mandated by a government - Often in conjunction with business and industry within its own country, as well as with other countries - to accelerate the application and use of successful measures to curb GHG emissions. Measures are technologies, processes, and practices used to implement policies that, if employed, would reduce GHG emissions below anticipated future levels. Examples might include carbon or energy taxes, standardized fuel efficiency standards for automobiles, etc. "Common and co-ordinated" or "harmonized" policies refer to those adopted jointly by Parties. This could be by region, such as the European Union, or by countries that comprise a given classification, for example, all Annex I nations.</p>
<p><i>Objetivos de Reducción y Limitación Cuantificada de Emisiones.</i></p> <p>Identifica los compromisos de reducción de GEIs adquiridos por los países del anexo B del Protocolo de Kioto.</p>	<p><i>Quantified Emissions Limitations and Reduction Objectives QELRO.</i></p> <p>It is the acronym used for the GHG emission reduction commitments made by developed countries listed in Annex B of the Kyoto Protocol.</p>

<p><i>Certificados Verdes.</i></p> <p>Un certificado verde representa una unidad de electricidad generada por energía renovable. Un certificado verde representa un megavatio-hora (o 1000 kilovatios-hora). Es la unidad utilizada en el programa obligatorio australiana y también en programas voluntarios de la UE.</p>	<p><i>Renewable Energy Certificate REC.</i></p> <p>A REC represents a unit of electricity generated from renewable energy. One REC represents 1 megawatt-hour (or 1000 kilowatt hours). It is the unit referred to in the Australian mandatory scheme, and also in the voluntary European schemes.</p>
<p><i>Certificados Verdes (R.U).</i></p> <p>Un certificado verde (R.U.) representa una unidad de electricidad generada por energías renovables en el Reino Unido. Se emiten por cada megavatio-hora de electricidad generado con energía renovable. Las comercializadoras pueden comprarlos directamente de la energía de un generador o bien pueden comprarlas en un mercado aparte, y de este modo alcanzar sus objetivos establecidos para energías renovables en el Reino Unido.</p>	<p><i>Renewable Obligation (U.K) ROC.</i></p> <p>A ROC represents a unit of electricity generated from renewable energy in the UK. One ROC is issued for each megawatt hour (or 1000 kilowatt hours) of renewable electricity generated. Suppliers can purchase ROCs with the power either from a generator, or they can buy them on the market separately from the power, to meet their mandatory targets for renewable energy in the UK.</p>
<p><i>Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico.</i></p> <p>Es un órgano permanente establecido por la CMCC (art. 10). Su función es proporcionar a las CP, y según proceda a sus demás órganos subsidiarios, con la información y asesoramiento oportuno sobre los aspectos científicos y tecnológicos relacionados con la Convención.</p>	<p><i>Subsidiary Body for Implementation SBI.</i></p> <p>A permanent body established by the UNFCCC (Art. 10). Its role is to develop recommendations to assist the COP in assessing and reviewing the implementation of the Climate Convention.</p>

ANEXO B

NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 334.090:2007

“CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos”

NORMA ASTM C595/C595M-10

“Standard Specification for Blended Hydraulic Cements”

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 334.090
2013

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI
Calle De la Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos

CEMENT. Blended Portland cements. Requirements

2013-07-17
5ª Edición

R.0046-2013/CNB-INDECOPI. Publicada el 2013-07-27

Precio basado en 41 páginas

I.C.S.: 91.100.10

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Cemento, cemento Portland, cemento adicionado, requisito

© INDECOPI 2013

© INDECOPI 2013

Todos los derechos son reservados. A menos que se especifique lo contrario, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia o publicándolo en el internet o intranet, sin permiso por escrito del INDECOPI.

INDECOPI

Calle de La Prosa 104, San Borja
Lima- Perú
Tel.: +51 1 224-7777
Fax.: +51 1 224-1715
sacreclamo@indecopi.gob.pe
www.indecopi.gob.pe

ÍNDICE

	página
ÍNDICE	ii
PREFACIO	iii
1. OBJETIVO	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. CAMPO DE APLICACIÓN	5
4. DEFINICIONES	5
5. CLASIFICACIÓN	5
6. INFORMACIÓN PARA LA ORDEN DE COMPRA	8
7. MATERIALES Y FABRICACIÓN	9
8. REQUISITOS QUÍMICOS	13
9. REQUISITOS FÍSICOS	14
10. MUESTREO	15
11. MÉTODOS DE ENSAYO	16
12. REQUISITOS DE TIEMPOS PARA ENSAYOS	20
13. INSPECCIÓN	20
14. RECHAZO	21
15. CERTIFICACIÓN	21
16. ENVASE Y ROTULADO	22
17. ALMACENAMIENTO	23
18. ANTECEDENTES	23
ANEXO A (NORMATIVO)	24
ANEXO B (INFORMATIVO)	41

ii

PREFACIO

A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Cementos, cales y yesos, mediante el Sistema 2 u Ordinario, durante los meses de enero a marzo de 2013, utilizando como antecedente a la norma ASTM C595 / C595M - 13 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Cementos, cales y yesos presentó a la Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias –CNB-, con fecha 2013-03-26, el PNTP 334.090:2013, para su revisión y aprobación, siendo sometido a la etapa de discusión pública el 2013-05-17. No habiéndose presentado observaciones fue oficializada como Norma Técnica Peruana NTP 334.090:2013 CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos, 5ª Edición, el 27 de julio de 2013.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 334.090:2013. La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001-1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría	Asociación de Productores de Cemento – ASOCEM
Presidente	Manuel Gonzáles de la Cotera Schreimüller
Secretario	Juan Avalo Castillo
ENTIDAD	REPRESENTANTE
UNACEM S.A.A.	Rubén Gilvonio Hernán La Jara

Cementos Pacasmayo S.A.A. Yura S.A.	Rosaura Vásquez A. Silvino Quispe Mario Valdivia B.
Cemento Sur S.A.	José Ramírez M. Jaime Curo H.
Agregados Calcáreos S.A.	Gonzalo Roselló T. Luis Valdera C.
ARPL Tecnología Industrial S.A.	Hugo Lazo Lucio Argüelles
Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil	Carlos Barzola Rafael Cachay
Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Departamental de Lima	Enrique Rivva
Pontificia Universidad Católica del Perú – Facultad de Ciencias e Ingeniería	Juan Harman I.
Ministerio de la Producción	Manuel Alvarez P.
Ministerio de Transportes y Comunicaciones Dirección de Normatividad Vial	Jhonny Figueres C.
SENCICO	Vanna Guffanti
CONSULTOR INDEPENDIENTE	Ana Biondi
FIRTH INDUSTRIES PERÚ S.A.	Juan Harman C. Patricia Bayón Alberca
SIKA PERÚ S.A.	Gari Medina Jimmy Andrade
UNICON S.A.	José Alvarez. Aleksy Beresovsky
PREMIX S.A.	Carlos Forero
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.A	Yerry Morales B Soraya Guzmán B.

---oooOooo---

CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos

1. OBJETIVO

Esta Norma Técnica Peruana establece los requisitos que deberán cumplir los cementos Portland adicionados, sus aplicaciones generales y especiales, utilizando escoria, puzolana, caliza o alguna combinación de estas, con cemento Portland o clinker de cemento Portland o escoria con cal.

NOTA 1: Esta NTP prescribe ingredientes y dosificaciones, con algunos requisitos de desempeño mientras que la norma de desempeño NTP 334.082 es una norma de cemento Portland en la cual sólo los criterios de desempeño gobiernan los productos y su aceptación.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia en todo momento.

2.1 Normas Técnicas Peruanas

2.1.1	NTP 334.001:2011	CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura
2.1.2	NTP 334.002:2003	CEMENTOS. Determinación de la finura expresada por la superficie específica (Blaine)
2.1.3	NTP 334.004:2008	CEMENTOS. Ensayo en autoclave para determinar la estabilidad de volumen

2.1.4	NTP 334.005:2011	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento Portland
2.1.5	NTP 334.006:2003	CEMENTOS. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando la aguja de Vicat
2.1.6	NTP 334.007:2011	CEMENTOS. Muestreo e inspección
2.1.7	NTP 334.009:2011	CEMENTOS. Cemento Portland. Requisitos
2.1.8	NTP 334.045:2010	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la finura por tamizado húmedo con tamiz normalizado 45 μm (N° 325)
2.1.9	NTP 334.048:2003	CEMENTOS. Determinación del contenido de aire en morteros de cemento hidráulico
2.1.10	NTP 334.051:2006	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado
2.1.11	NTP 334.064:2009	CEMENTOS. Método para determinar el calor de hidratación de cementos Portland. Método por disolución
2.1.12	NTP 334.067:2011	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de combinaciones cemento-agregado. Método de la barra de mortero
2.1.13	NTP 334.074:2004	CEMENTOS. Determinación de la consistencia normal

2.1.14	NTP 334.075:2004	CEMENTOS. Cemento Portland. Método de ensayo normalizado para optimizar el SO ₃ usando resistencia a la compresión a las 24 horas
2.1.15	NTP 334.082:2008	CEMENTOS. Cemento Portland. Especificación de la Performance
2.1.16	NTP 334.084:2009	CEMENTOS. Especificación normalizada para aditivos funcionales a usarse en la producción de cementos Portland
2.1.17	NTP 334.085:2005	CEMENTOS. Aditivos de proceso a usarse en la producción de cementos Portland
2.1.18	NTP 334.086:2008	CEMENTOS. Método para el análisis químico del cemento
2.1.19	NTP 334.093:2001	CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la expansión de barras de mortero de cemento portland curadas en agua
2.1.20	NTP 334.094:2009	CEMENTOS. Método normalizado para determinar el cambio de longitud en morteros de cemento Portland expuestos a soluciones sulfatadas
2.1.21	NTP 334.111:2002	CAL Y PIEDRA CALIZA. Definiciones y nomenclatura
2.1.22	NTP 334.127:2012	CEMENTOS. Adiciones minerales del cemento y hormigón (concreto). Puzolana natural cruda o calcinada y ceniza volante. Método de ensayo
2.1.23	NTP 334.144:2004	CALES. Cal hidratada para su uso con puzolanas. Requisitos

2.1.24 NTP 334.165: 2007 CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para cambios de longitud de morteros y concretos con cemento Portland endurecido

2.1.25 NTP 350.001:1970 Tamices de ensayo

2.2 Normas Técnicas de Asociación

2.2.1 ASTM C 226:2012 Especificación estándar para Adiciones incorporadores de aire para uso en la Fabricación de Cemento incorporador de aire hidráulico

2.2.2 ASTM C511:2009 Especificación para salas de mezclas, armarios húmedos, habitaciones húmedas, y tanques de almacenamiento de agua usados en el ensayo de cementos hidráulicos y hormigón

2.2.3 ASTM E 350:2012 Métodos de ensayo para el análisis químico de acero al carbono, acero de baja aleación, acero eléctrico al silicio, lingotes y hierro forjado

2.2.4 ASTM E 1019:2011 Métodos de prueba para la determinación de carbono, azufre, nitrógeno y oxígeno en el acero, aleaciones de hierro, níquel y cobalto mediante varias técnicas de combustión y fusión

2.2.5 IEEE/ASTM SI 10 Norma Nacional Americana para el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI): Sistema Métrico Moderno

2.2.6 CSA A3004-D2 Determinación del carbono orgánico total en la caliza

3. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Técnica Peruana se aplica a los cementos Portland adicionados.

4. DEFINICIONES

Para los propósitos de esta Norma Técnica Peruana se aplican las siguientes definiciones, así como las definidas en la NTP 334.001:

4.1 **cemento adicionado binario:** Un cemento adicionado hidráulico que consiste en cemento Portland con cemento de escoria, o cemento Portland con una puzolana.

4.2 **cemento adicionado ternario:** Un cemento adicionado hidráulico que consiste en cemento Portland con una combinación de dos puzolanas diferentes, o cemento Portland con cemento de escoria y una puzolana, una puzolana y una caliza, o cemento de escoria y una caliza.

5. CLASIFICACIÓN

5.1 La presente NTP se aplica a los siguientes tipos de cemento adicionado que generalmente son concebidos para el uso indicado.

5.1.1 Cementos Portland adicionados para construcción de concreto en general.

5.1.1.1 **Tipo IS:** Cemento Portland con escoria de alto horno.

5.1.1.2 **Tipo IP:** Cemento Portland puzolánico.

5.1.1.3 **Tipo IL:** cemento Portland - caliza

5.1.1.4 **Tipo I(PM):** Cemento Portland puzolánico modificado.

5.1.1.5 **Tipo IT:** Cemento adicionado ternario.

5.1.1.6 **Tipo IC_o:** Cemento Portland compuesto.

5.2 Denominación

5.2.1 La práctica a seguir para designar a los cementos adicionados debe ser agregar el sufijo (X) a la designación de tipo según el apartado 5.1.1, donde (X) es igual al porcentaje de escoria, puzolana o caliza en el producto que figura en el envase, expresado como un número entero por masa, del producto final adicionado, dentro de la variación admisible indicada en el apartado 15.3.

5.2.2 La práctica a seguir para designar a los cementos adicionados ternarios debe ser agregar los sufijos (AX) y (BY) a la designación de Tipo IT según el apartado 5.1.1, donde:

A es "S" para cemento de escoria, o "P" para puzolana, o "L" para caliza, el que esté presente en mayor cantidad por masa, y

X es el porcentaje en masa del constituyente A indicado en el envase, y B es "S" para cemento de escoria, o "P" para puzolana, o "L" para caliza, e

Y es el porcentaje en masa del constituyente B indicado en el envase.

Ambos valores X e Y están expresados como un número entero en masa del producto final adicionado, dentro de la variación permisible establecida en el apartado 15.3. Si X e Y son iguales, listar los dos constituyentes en orden alfabético según el tipo de constituyente (caliza, puzolana o escoria).

NOTA 2: A continuación se muestran ejemplos de la práctica a seguir para designar según 5.2.1 y 5.2.2. (todos los porcentajes en masa):
Cemento adicionado binario con 80 % de cemento Portland y 20 % de cemento de escoria = Tipo IS(20).
Cemento adicionado binario con 85 % de cemento Portland y 15 % de puzolana = Tipo IP(15).
Cemento adicionado binario con 90 % de cemento Portland y 10 % de caliza = Tipo IL(10).
Cemento adicionado ternario con 70 % de cemento Portland, 20 % de cemento de escoria y 10 % de puzolana = Tipo IT(S20)(P10).

Cemento adicionado ternario con 65 % de cemento Portland, 25 % de una puzolana y 10 % de otra puzolana = Tipo IT(P25)(P10).
Cemento adicionado ternario con 60 % de cemento Portland, 20 % de escoria y 20 % de otra puzolana = Tipo IT(P20)(S20).
Cemento adicionado ternario con 80 % de cemento Portland, 10 % de una puzolana y 10 % de caliza = Tipo IT(L10)(P10).
Cemento adicionado ternario con 75 % de cemento Portland, 15 % de cemento de escoria y 10 % de caliza = Tipo IT(S15)(L10).

5.2.3 En esta NTP se usa una práctica simplificada para designar en forma sencilla y clara cuando se refiere a requisitos específicos para cementos adicionados binarios y ternarios que son aplicables a un rango de productos, o en cementos adicionados ternarios cuando los requisitos son aplicables a sólo un constituyente dentro de un rango específico (%). (Véase la Nota 3).

NOTA 3: A continuación se muestran ejemplos de las prácticas simplificadas para designar según 5.2.3:

1) En la Tabla 1 se puede encontrar un ejemplo en el que los requisitos son aplicables a un rango de productos, donde el contenido máximo de 3 % del SO_3 , se aplica a: cementos adicionados binarios con contenidos de cemento de escoria < 70 %, indicados como IS(<70); cementos adicionados ternarios con un contenido de puzolana menor que el contenido de cemento de escoria, y donde el contenido de cemento de escoria es menor que 70 %, se designa como IT(P<S<70).

2) En el apartado 9.2 se puede encontrar un ejemplo en el cual los requisitos son aplicables a un único constituyente dentro de un rango específico (%) de este constituyente, donde se requiere ensayo sólo cuando el contenido de cemento de escoria es < 25 %. Ya que el requisito está basado sólo en el contenido de cemento de escoria, sin relación con el contenido de puzolana o caliza, se emplea una práctica simplificada para nombrar y el rango de cementos adicionados ternarios son indicados como Tipo IT(S<25).

5.3 Propiedades especiales

5.3.1 Cuando se solicite, se debe especificar moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación, o ambos, agregando el sufijo (MS) o (MH), respectivamente, al tipo de cemento indicado en el apartado 5.1.1.

5.3.2 Cuando se solicite por el comprador de alta resistencia a los sulfatos, se debe especificar agregando el sufijo (HS) al tipo de cemento indicado en el apartado 5.1.1.

5.3.3 Cuando se solicite por el comprador se debe especificar bajo calor de

hidratación, agregando el sufijo (LH), al tipo de cemento indicado en el apartado 5.1.1.

NOTA 5: Las características especiales atribuibles a la escoria, a la puzolana o a la caliza variarían en base a las cantidades contenidas dentro de los cementos adicionados. Cementos Tipo IL y Tipo IT con caliza no están permitidos como cementos moderada (MS) o altamente resistentes a los sulfatos, en espera de los resultados de nuevas investigaciones.

TABLA 1 – Requisitos químicos

REQUISITOS QUÍMICOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICABLE	TIPOS DE CEMENTO			
		IS(<70) IT(P<S<70) IT(L<S<70)	IS(≥70) IT(S≥70)	IP, I(PM) IT(P≥S) IT(P≥L)	ICo IL IT(L≥S) IT(L≥P)
Oxido de magnesio (MgO), máx. %	334.086	...	...	6,0	...
Azufre como trióxido de azufre (SO ₃), máx ^A %	334.086	3,0	4,0	4,0	3,0
Azufre (S), máx. %	334.086	2,0	2,0	...	....
Residuo insoluble, máx. % ^B	334.086	1,0	1,0	...	....
Pérdida por ignición, máx. %	334.086	3,0 ^C	4,0 ^C	5,0 ^C	10,0

A Puede permitirse superar los valores de contenido de SO₃ de esta tabla, a condición que se haya demostrado mediante el método de ensayo de la NTP 334.078 que el cemento con el SO₃ incrementado no desarrollará expansión superior a 0,020% a los 14 días. Cuando el fabricante suministra el cemento bajo esta NTP, los datos de apoyo se le proporcionarán al comprador. Véase la NOTA 8.

B Limite máximo de residuo insoluble no se aplica para cementos adicionados ternarios

C Para cementos adicionados ternarios con caliza la pérdida por ignición es un máximo de 10,0% en masa

6. INFORMACIÓN PARA LA ORDEN DE COMPRA

6.1 Las órdenes de compra del cemento sujeto a esta NTP deben incluir lo siguiente:

6.1.1 Número de esta NTP,

6.1.2 Tipo o tipos de cementos requeridos,

6.1.2.1 Porcentaje admisible de escoria o puzolana, o caliza, máximo o mínimo, o ambos, si se requiere.

- 6.1.3 Si se requiere propiedades especiales opcionales indicar (Véase 5.3):
- 6.1.3.1 MS si se requiere moderada resistencia a los sulfatos;
 - 6.1.3.2 HS si se requiere alta resistencia a los sulfatos;
 - 6.1.3.3 MH si se requiere moderado calor de hidratación;
 - 6.1.3.4 LH si se requiere bajo calor de hidratación;
 - 6.1.3.5 Aditivos acelerantes, si se requiere;
 - 6.1.3.6 Aditivos retardadores, si se requiere;
 - 6.1.3.7 Aditivos reductores de agua, si se requiere; y
 - 6.1.3.8 Aditivos reductores de agua y aditivos acelerantes, si se requiere, y
 - 6.1.3.9 Aditivos reductores de agua y aditivos retardadores, si se requiere, y
- 6.1.4 Certificado, si se desea (Véase Capítulo 15).

NOTA 6: Es importante controlar la disponibilidad de distintas opciones. Algunas opciones múltiples son mutuamente incompatibles o imposibles de obtener.

7. MATERIALES Y FABRICACIÓN

7.1 Escoria granulada de alto horno

Es el producto no metálico, que consiste esencialmente de silicatos y aluminosilicatos de

calcio y otras bases, que se obtiene en estado fundido, con impurezas de hierro, en los altos hornos.

7.2 Escoria granulada de alto horno

Es el material granular vítreo formado cuando la escoria de alto horno fundida es rápidamente enfriada por inmersión en agua.

7.3 Caliza

Tal como se define en la NTP 334.111 deberá ser de origen natural y cumplir con los requisitos indicados en el apartado 8.2.

7.4 Cemento de escoria

Véase la NTP 334.001.

7.5 Cemento Portland

Véase la NTP 334.001. Para los fines de esta NTP, es aplicable el cemento Portland que cumple los requisitos de la NTP 334.086 o la NTP 334.009. No se prohíbe la utilización de cemento Portland u otros materiales hidráulicos, o ambos, que contengan alta cal libre mientras se cumplan los límites de ensayo en autoclave para el cemento adicionado.

7.6 Clinker de cemento Portland

El clinker de cemento Portland debe ser clinker parcialmente fundido que consiste primordialmente en silicatos de calcio hidráulicos.

7.7 Puzolana

Es un material silíceo o silíceo y aluminoso, que por sí mismo puede tener poco o ningún

valor cementicio pero que, finamente dividido y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio, a temperaturas comunes, para formar compuestos que poseen propiedades cementicias.

7.8 Cal hidratada

La cal hidratada utilizada como parte de un cemento adicionado debe cumplir los requisitos de la NTP 334.144, pero cuando es molida en forma conjunta en el proceso de producción, no debe haber ningún requisito de finura mínima.

7.9 Aditivos de proceso

Los aditivos de proceso utilizados en la fabricación del cemento, deben demostrar que cumplen con los requisitos de la NTP 334.085 cuando se usen en las cantidades formuladas o mayores, (Véase apartado 15.2).

7.10 Aditivos funcionales

Cuando son incorporados en la fabricación del cemento (sólo a opción del comprador) deben demostrar que cumplen con los requisitos de la NTP 334.084 cuando son ensayados con el cemento a utilizar, en las cantidades formuladas o mayores (Véase el apartado 15.2).

7.11 Otros aditivos

Los cementos cubiertos por esta NTP no deben contener otros aditivos, excepto los señalados anteriormente y agua o sulfato de calcio (Véase definiciones NTP 334.001) o ambos, los cuales pueden ser añadidos en cantidades tales que no se excedan los límites mostrados en la Tabla 1, para sulfato reportado como SO_3 y para pérdida por ignición.

7.12 Cemento adicionado binario

Es un cemento hidráulico que consiste en una mezcla íntima y uniforme (Véase Nota 7), producida ya sea por la molienda conjunta de clinker de cemento Portland con una puzolana o una escoria granulada de alto horno, o un cemento de escoria, o una caliza, por

la mezcla conjunta de cemento Portland con una puzolana o un cemento de escoria, o mediante un proceso combinado de molienda y mezclado con puzolana o un cemento de escoria, o caliza o una combinación de molienda conjunta y mezclado. Cualquier escoria granulada de alto horno, cemento de escoria, puzolana o caliza utilizada como ingrediente o una adición de cemento portland para fabricar un cemento mezclado binario se incluirán en el reporte total de los materiales denominados en el apartado 5.2 o el apartado 15.1. Se deben aplicar los requisitos máximos para los constituyentes .

7.13 Cemento adicionado ternario

Es un cemento hidráulico que consiste en una mezcla íntima y uniforme (Véase Nota 7), producida ya sea por la molienda conjunta de clinker de cemento Portland con 1) dos puzolanas diferentes, 2) escoria granulada de alto horno o cemento de escoria y una puzolana; 3) una puzolana con una caliza, o 4) escoria granulada de alto horno o cemento de escoria y una caliza; por el mezclado de cemento Portland con 1) dos puzolanas diferentes, 2) cemento de escoria y una puzolana, 3) una puzolana y una caliza, o 4) un cemento de escoria y una caliza; o un proceso combinado de molienda y mezclado. Cemento ternario mezclado Tipo II($S \geq 70$) debe tener un contenido máximo de caliza de 15 % en masa. Todos los otros cementos ternarios combinados deben contener un máximo de puzolana de 40 % en masa del cemento mezclado, un máximo de contenido de caliza del 15 % en masa del cemento combinado y el contenido total de puzolana, caliza y escoria granulada de alto horno o escoria de cemento debe ser inferior al 70 % en masa del cemento mezclado. Cualquier escoria granulada de alto horno, cemento de escoria, puzolana o caliza utilizada como ingrediente o una adición de cemento portland para fabricar un cemento mezclado ternario se incluirán en el reporte total de los materiales denominados en el apartado 5.2 o en el apartado 15.1.

NOTA 7: Es difícil obtener una mezcla íntima y uniforme de dos o más tipos de materiales finos. Consecuentemente, el fabricante debe proveer equipo y controles adecuados. Los compradores deberían asegurarse por sí mismos de la idoneidad de la operación de mezclado.

7.14 Cemento Portland de escoria de alto horno

Es un cemento hidráulico en el cual el cemento de escoria constituyente está presente hasta el 95 % en masa, de la masa total del cemento adicionado. Se permite que un cemento adicionado, binario o ternario, con un contenido de cemento de escoria igual o mayor al 70 % en masa, contenga cal hidratada.

7.15 Cemento Portland puzolánico

Es un cemento hidráulico en el cual la puzolana constituyente está presente por encima del 40 % en masa cemento adicionado.

7.16 Cemento Portland compuesto Tipo ICo

Es un cemento Portland obtenido por la pulverización conjunta de clinker Portland, materias calizas y/o inertes hasta un máximo de 30 % .

7.17 Cemento Portland – calizo

Es un cemento hidráulico en el cual el contenido de caliza es más que el 5 % pero menor o igual al 15 % en masa del cemento mezclado

8. REQUISITOS QUÍMICOS

8.1 Los cementos definidos en esta NTP deben cumplir los requisitos químicos prescritos en la Tabla 1.

NOTA 8: Hay casos en que el rendimiento de un cemento se mejora con SO₃ en exceso sobre los límites de la Tabla 1 de esta especificación. El método de prueba de la NTP 334.075 es uno de varios métodos que un fabricante puede utilizar para evaluar el efecto del contenido de sulfato en las características de cemento. Siempre que el contenido de SO₃ de un cemento exceda los límites de la Tabla 1, los resultados del método de prueba de la NTP 334.093 proporcionan evidencia de que la excesiva expansión no se produce en contenidos mayores de sulfato.

8.1.1 Si el comprador solicita al fabricante declarar por escrito la composición del cemento adicionado, la composición del cemento comercializado deberá cumplir con lo que figura en la declaración, dentro de las siguientes tolerancias (Véase Nota 9).

REQUISITOS	TOLERANCIA ± %
Dióxido de silicio (SiO ₂)	3
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	2
Óxido de calcio (CaO)	3

NOTA 9: Esto significa que si la declaración de composición del fabricante dice "SiO₂: 32 %", el resultado del ensayo debe encontrarse entre 29 y 35 % de SiO₂.

8.2 Caliza

La caliza para su uso en la fabricación de cemento portland calizo, o un cemento adicionado ternario en la que caliza es un ingrediente, tendrá un contenido de carbonato de calcio de al menos 70 % en masa. La caliza deberá cumplir con los requisitos de la Tabla 2 para el índice de azul de metileno y el contenido de carbono orgánico total.

TABLA 2 - Requisitos de la caliza para ser usado en cementos adicionados

	Métodos de prueba aplicables	
Contenido de CaCO ₃ , mínimo % en masa	NTP 334.086	70 [^]
Índice de azul de metileno, máximo, g/100g	Véase anexo A2	1,2
Carbono orgánico total, máximo, % en masa	Véase anexo A3	0,5

[^] El contenido de carbonato de calcio de la caliza debe ser determinada por multiplicación del contenido de CaO de la caliza determinado por el método de prueba NTP 334.086 por el factor de 1,785

9. REQUISITOS FÍSICOS

9.1 Cemento Portland adicionado

El cemento adicionado del tipo especificado deberá cumplir con los requisitos físicos prescritos en la Tabla 3.

9.2 Puzolana o escoria

La puzolana o escoria granulada de alto horno o cemento de escoria que será adicionado con el cemento, deberá ser ensayada en el mismo estado de finura que aquella a la cual será combinada. La puzolana deberá cumplir con los requisitos de finura y de índice de actividad indicados en la Tabla 4. La escoria que va a ser utilizada para la fabricación de cementos Portland de escoria de alto horno Tipo IS(<25), o cementos adicionados ternarios Tipo IT(S<25), deberá cumplir con el requisito de índice de actividad de la escoria de la Tabla 4. La puzolana o escoria granulada de alto horno, o cemento de escoria que van a molerse conjuntamente con el clinker de cemento Portland, se ensayarán primero para verificar el cumplimiento con los requisitos de la Tabla 4, y serán molidas en el laboratorio hasta conseguir una finura similar a la que tendrá en el cemento adicionado. Es responsabilidad del fabricante decidir sobre la finura a la cual se van a llevar a cabo los ensayos, y cuando sea solicitado por el comprador, deberá presentar la información en la que se basa esta decisión.

9.3 La puzolana utilizada en la fabricación de cemento Portland puzolánico, Tipo IP(<15) y Tipo IP<15-A, o cementos ternarios adicionados del Tipo IT(P<15) y Tipo IT(P<15)-A deberán cumplir los requisitos de la Tabla 4, cuando se ensaye para determinar la expansión de morteros de puzolana, según el método descrito en 11.1.13. Si el contenido de álcalis del clinker a utilizar para la producción de los lotes cambia en más del 0,20 % del total como Na_2O equivalente, calculado como $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$, respecto al del clinker con el cual se llevaron a cabo los ensayos de aceptación, la puzolana deberá ser reensayada para demostrar que cumple con los requisitos de la Tabla 4.

10. MUESTREO

10.1 Muestrear el material de acuerdo con los siguientes métodos:

10.1.1 Muestreo de Cementos Adicionados. NTP 334.007.

10.1.1.1 Cuando el comprador solicite que el cemento sea muestreado y ensayado para verificar el cumplimiento con esta NTP, el muestreo y el ensayo deben realizarse acuerdo a la NTP 334.007.

10.1.1.2 La NTP 334.007 no está orientada para control de calidad de fabricación, por tanto no es requerida para el certificado del fabricante.

10.1.2 **Muestreo de la puzolana:** Para lo establecido en la NTP 334.127, se debe tomar una muestra de 2 kg por aproximadamente cada 400 ton (360 Mg) de puzolana.

11. MÉTODOS DE ENSAYO

11.1 Se determinan los requisitos aplicables enumerados en esta NTP de acuerdo con los siguientes métodos de ensayo:

11.1.1 **Análisis Químico:** NTP 334.086, con las disposiciones especiales aplicables a ensayos de cemento adicionado.

TABLA 3 - Requisitos Físicos

REQUISITOS FÍSICOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICABLE	TIPOS DE CEMENTO ^A				
		IS(<70), IP, IL, I(PM) IT(P<S<70) IT(P≥S) IT(P>L) IT(L≥P) ICo	IS(<70)(MS) IP(MS) IT(P<S<70)(MS) IT(P≥S)(MS)	IS(<70)(HS) IT(P<S<70)(HS) IP(HS) IT(P≥S)(HS)	IS(≥70), IT(S≥70)	IP(LH) ^A IT(P≥S)(LH) ^A IL(LH) ^A IT(<S<70)(LH) IT(P>L)(LH) ^A IT(L≥S)(LH) ^A IT(L≥P)(LH) ^A
Finura	334.002/334.045	B	B	B	B	B
Expansión en autoclave, max. %	334.004	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave, max. % ^B	334.004	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tiempo de fraguado, ensayo Vicat ^C	334.006					
Fraguado, minutos, no menos de		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no más de		7	7	7	7	7
Contenido de aire del mortero, volumen %, max.	334.048	12	12	12	12	12
Resistencia a compresión, mín., MPa	334.051					
3 días		13,0	11,0	11,0	...	...
7 días		20,0	18,0	18,0	5,0	11,0
28 días		25,0	25,0	25,0	11,0	21,0
Calor de hidratación, kJ/kg (Cal/g) ^D máx.	334.064					
7 días		290(70) ^E	290(70) ^E	290(70) ^E	...	250(60)
28 días		330(80) ^E	330(80) ^E	330(80) ^E	...	290(70)

Requerimiento de agua, % en peso del cemento, max.	334.051/334.165	...	...	...	...	64
Contracción por secado, % max.	334.067	...	...	...	...	0,15
Expansión del mortero: ^F						
14 días, % max.		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
8 semanas, % max.		0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Resistencia a los sulfatos, max. % ^D						
Expansión a los 180 días, % max.	334.094	----	0,10	0,05	----	---- ^H
Expansión a 1 año		----	---	0,10	----	---- ^H

^A Sólo son aplicables cuando no son requeridos resistencias mayores a edades tempranas o cuando se necesita bajo calor.

^B Se deben informar tanto la cantidad retenida por tamizado por vía húmeda en tamiz 45- μ m (No. 325) como la superficie específica por el aparato de permeabilidad de aire, en m²/kg, en todos los informes de ensayos en fábrica requeridos según 15.4.

^C Os especímenes deben permanecer firmes y duros y no mostrar señales de distorsión, agrietamiento, rajaduras, picaduras, o desintegración cuando son sometidos al ensayo de expansión en autoclave.

^D El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en el método de ensayo NTP 334.006. El tiempo de fraguado de cementos que contienen un aditivo funcional de tipo acelerador o retardador requerido por el usuario, no necesita cumplir con los límites de esta tabla, pero debe ser declarado por el fabricante.

^E Aplicable sólo cuando se especifique un moderado (MH) calor de hidratación, en cuyo caso los requisitos de resistencia deben ser el 80 % de los valores mostrados en la tabla.

^F El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional a ser aplicado sólo a pedido del comprador y no es requerido a menos que el cemento vaya a ser utilizado con agregado álcálico-reactivo.

^G En el ensayo de cemento HS, no se requiere ensayar a un año cuando el cemento cumple el límite de 180 días. No se debe rechazar un cemento HS que no cumple el límite de 180 días a menos que tampoco cumpla el límite de un año.

^H Criterio opcional de la resistencia a los sulfatos que se aplica sólo si es invocado específicamente, es aplicable para el tipo IP(LH) y Tipo IT(P \geq S)(LH), el criterio opcional de resistencia al sulfato que se aplica para MS es un máximo de 0,10 % de expansión a los 180 días y para HS es de un máximo de 0,05 % de expansión en 180 días o un máximo de 0,10 % de expansión en un año (véase la nota H). Los cementos del tipo IL y del tipo IT con caliza no son permitidos como cementos de moderada resistencia a los sulfatos (MS) o alta resistencia (HS)

11.1.2 **Finura por Tamizado:** NTP 334.045.

11.1.3 **Finura utilizando el aparato de permeabilidad (Blaine) al aire:** NTP 334.002.

11.1.4 **Expansión en Autoclave:** NTP 334.004, excepto que, en el caso de cemento Portland con escoria de alto horno Tipo IS (≥ 70) o cemento adicionado ternario Tipo IT($S \geq 70$), los especímenes de ensayo deben permanecer en el gabinete de curado por un período de 48 h antes de medir su longitud, y que el tiempo de mezclado de la pasta de cemento debe ser no menos de 3 minutos ni más de 3,5 minutos.

11.1.5 **Tiempo de fraguado.** Método de ensayo NTP 334.006.

TABLA 4 - Requisitos para la puzolana a utilizar en cementos adicionados y para la escoria a utilizar en cemento Portland con escoria de alto horno Tipo IS (< 25) y cemento adicionado ternario Tipo IT($S < 25$)

Puzolana y Escoria, según sea aplicable	Método de ensayo aplicable	Requisitos
Finura. Cantidad retenida en tamizado por vía húmeda en tamiz 45 μm (No 325), máx. %	NTP 334.045	20,0
Reactividad alcalina de la puzolana para utilizar en Tipos I(PM) (< 15); IT(P < 15) e I(PM) (< 15)-A; seis ensayos de expansión de barra de mortero a 91 días, máx. %	NTP 334.067	0,05
Índice de actividad con cemento Portland, a 28 días, mín. %	Véase Anexo A1	75

11.1.6 **Contenido de aire del mortero:** NTP 334.048, utilizando la gravedad específica del cemento, si esta difiere de 3,15 en más de 0,05, en el cálculo del contenido de aire.

11.1.7 **Resistencia a compresión:** Método de Ensayo NTP 334.051.

11.1.8 **Calor de hidratación:** Método de Ensayo NTP 334.064.

11.1.9 **Consistencia normal.** Método de Ensayo NTP 334.074, excepto que en el caso de cemento Portland con escoria de alto horno IS (≥ 70) o cemento adicionado ternario IT ($S \geq 70$), la pasta debe ser mezclada durante no menos de 3 min ni más de 3,5 min.

11.1.10 **Densidad:** Método de Ensayo NTP 334.005.

11.1.11 **Requerimiento de agua:** La masa de agua de mezclado adicionada a la requerida para la preparación de los seis cubos, debe cumplir con la NTP 334.051, y expresarse como un porcentaje del total de los ingredientes cementantes.

11.1.12 **Expansión de mortero de cemento adicionado:** Método de Ensayo NTP 334.067, utilizando como agregado vidrio pyrex N° 7740 triturado, y gradado de acuerdo a lo prescrito en la Tabla 5.

TABLA 5 - Requisitos de granulometría de agregados para el ensayo de expansión de mortero

Tamaño del tamiz		Peso %
Pasa	Retenido	
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N°8)	10
2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N°16)	25
1,18 mm (N° 16)	600 μm (N°30)	25
600 μm (N° 30)	300 μm (N°50)	25
300 μm (N° 50)	150 μm (N°100)	15

11.1.13 **Expansión de mortero de puzolana para uso en cemento Portland puzolánico Tipos Tipos IT(P<15) e IT(P<15)-A o cemento adicionado ternario o IT(P<15) IT(P<15)-A:** Utilizando la puzolana y el clinker o el cemento que va a ser usado conjuntamente en la producción del cemento adicionado, se preparan los cementos Portland puzolánicos tipos IP(<15) y IP(<15)-A, o cemento adicionado Ternario IT(P<15) e IT(P<15)-A que contengan 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 y 15 % en masa de la puzolana. Estas combinaciones deben ser ensayadas de acuerdo con la NTP 334.067 utilizando una arena no reactiva. La expansión de las barras de mortero debe ser medida a los 91 días, y las seis mezclas deben cumplir los requisitos de expansión de la Tabla 4.

11.1.14 **Contracción por secado:** Método de Ensayo NTP 334.165. Se preparan tres especímenes utilizando la siguiente dosificación de materiales secos: 1 parte de cemento y 2,75 partes de arena de Ottawa graduada según el Método de Ensayo NTP 334.051. Se utiliza un periodo de curado de 6 días y un periodo de almacenamiento en aire de 28 días. Se informa la contracción lineal durante el almacenamiento en aire, basándose en una medición inicial, luego del periodo de 6 días de curado en agua.

11.1.15 **Índice de actividad con cemento Portland:** De acuerdo con el Anexo A1.

11.1.16 **Resistencia a los sulfatos:** Método de Ensayo NTP 334.094.

11.1.17 **Índice del Azul de Metileno de la Caliza:** Véase Anexo A.2

11.1.18 **Contenido de Carbono Orgánico Total de la Caliza:** Véase Anexo A.3

12. REQUISITOS DE TIEMPOS PARA ENSAYOS

12.1 No deberán exceder los siguientes periodos desde el momento del muestreo hasta completar los ensayos:

Tiempos de ensayo	Plazo de término
Ensayo a 3 días	8 días
Ensayo a 7 días	12 días
Ensayo a 14 días	19 días
Ensayo a 28 días	33 días
Ensayo a 8 semanas	61 días

13. INSPECCIÓN

13.1 Se deberá proporcionar al comprador todas las facilidades para realizar la inspección y muestreo del cemento materia del contrato de compra. La inspección y el muestreo del cemento se deben realizarse en la fábrica o en el sitio de distribución controlado por el fabricante, o en el lugar que acuerden el comprador y el vendedor.

13.2 El fabricante deberá proveer instalaciones adecuadas para permitir al inspector verificar las masas relativas de los constituyentes utilizados, y la operación de molienda conjunta o combinación utilizada para producir el cemento adicionado. Las instalaciones en planta para molienda conjunta o combinación e inspección deben ser adecuadas para asegurar el cumplimiento con las disposiciones de esta especificación.

14. RECHAZO

14.1 El lote de cemento deberá cumplir con los requisitos establecidos en esta NTP y según la NTP 334.007.

14.2 En la opción del comprador, el cemento será rechazado si no cumple con alguno de los requisitos de esta NTP aplicable al cemento. Tal rechazo se aplicará a un requisito opcional sólo si esa opción ha sido aplicable al cemento.

14.3 Es opción del comprador realizar un nuevo reensayo al cemento antes de usarse, si éste ha permanecido almacenado a granel por más de seis meses o embolsado en un almacén custodiado por el vendedor, por más de tres meses después de haber completado todos sus ensayos, debiendo cumplir con los requisitos especificados en esta NTP de acuerdo a los requerimientos de la NTP 334.007. El cemento así rechazado será de responsabilidad del titular del registro al momento de tomar las muestras para repetir la prueba.

14.4 En los envases se identificará la masa contenida como peso neto. Se aceptarán individualmente los envases cuya masa tenga una variación del 2 % menor a la masa especificada. El lote de cemento será admitido, si una muestra de 50 envases, obtenida según la NTP 334.007, tiene una masa promedio igual a la especificada.

15. CERTIFICACIÓN

15.1 A solicitud del comprador, el fabricante debe declarar por escrito la fuente, cantidad y composición de los constituyentes esenciales utilizados en la fabricación del cemento acabado y la composición del cemento adicionado comprado.

15.2 A solicitud del comprador, el fabricante debe declarar por escrito la naturaleza, cantidad, e identificación de cualquier aditivo de proceso o funcional; y también, si se requiere, debe suministrar los datos de ensayo mostrando el cumplimiento de cualquiera de tales aditivos de proceso con las disposiciones de la NTP 334.085 y de cualquiera de los aditivos funcionales con las disposiciones de la NTP 334.084.

15.3 A pedido del comprador, el fabricante debe también declarar por escrito que la cantidad de puzolana, escoria o caliza en el cemento acabado no variará más de $\pm 5,0\%$ en masa del cemento acabado de un lote a otro lote o dentro de un lote.

15.4 A pedido del comprador en el contrato u orden de compra, se debe proveer una certificación del fabricante indicando que el material ha sido ensayado durante la producción o transferencia de acuerdo con esta especificación y que cumple con esta especificación, y se debe suministrar un informe de los resultados de ensayo al momento del embarque (incluyendo tanto la cantidad retenida en el tamiz $45\ \mu\text{m}$ (N° 325) como la superficie específica por el método de permeabilidad de aire).

16. ENVASE Y ROTULADO

16.1 El cemento será recibido en el envase original de fábrica, sea en bolsas o a granel.

16.2 Cuando el cemento sea embolsado, deberá tener un contenido neto de 42,5 kg .

16.3 La bolsa que sirve de envase deberá incluir en el rotulo:

16.3.1 La palabra cemento Portland y el tipo correspondiente.

16.3.2 Nombre o símbolo del fabricante.

16.3.3 El contenido neto del cemento, en kg .

16.3.4 De ser el caso, el tipo de aditivo funcional

Similar información debe ser provista en los documentos de carga que acompañan el cargamento de cemento envasado o a granel. Todos los envases deben estar en buenas condiciones al momento de la inspección.

17. ALMACENAMIENTO

17.1 El cemento deberá ser almacenado de forma tal que permita un fácil acceso para la inspección e identificación de cada cargamento, y en una edificación, contenedores o empaques adecuados que protejan al cemento de la humedad y minimice el fraguado en almacenamiento.

18. ANTECEDENTES

18.1	ASTM C 595/C595M:2013	Especificación normalizada para cementos adicionados hidráulicos
18.2	NTP 334.090:2013	CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos

ANEXO A (NORMATIVO)

A1. ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON CEMENTO PORTLAND

A1.1 Preparación del espécimen

A1.1.1 Moldear, curar y ensayar los especímenes de una mezcla de control y de una mezcla en ensayo de acuerdo con el método de ensayo NTP 334.051. El cemento Portland utilizado en la mezcla de control deberá cumplir los requisitos de la NTP 334.009, y deberá ser del Tipo I, y si hay disponible, de la marca de cemento a utilizar en el trabajo. Preparar la mezcla para tres cubos como sigue: (Para 6 ó 9 cubos, duplicar o triplicar, respectivamente, las cantidades de los ingredientes secos)

A1.1.1.1 Mezcla de control:

250 g de cemento Portland
687,5 g de arena graduada de Ottawa
X mL de agua requerida para una fluidez de 100 a 115

A1.1.1.2 Mezcla de ensayo de puzolana:

162,5 g de cemento Portland
g de puzolana:
 $87,5 \times \text{gravedad específica de la muestra/gravedad específica del cemento Portland}$
687,5 g de arena graduada de Ottawa
Y mL de agua requerida para una fluidez de 100 a 115

A1.1.1.3 Mezcla de ensayo de escoria:

75 g de cemento Portland
g de escoria:
 $175 \times \text{gravedad específica de la escoria/gravedad específica del cemento Portland}$
687,5 g de arena graduada de Ottawa
Z mL de agua requerida para una fluidez de 100 a 115

A1.2 Almacenamiento de los especímenes

A1.2.1 Luego de moldear, coloque los especímenes y moldes (sobre tres placas base) en el cuarto o gabinete húmedo a $23,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 20 h a 24 h. Mientras esté en el cuarto o gabinete húmedo, proteja la superficie del goteo de agua. Retire los moldes del cuarto o gabinete húmedo y saque los cubos de los moldes. Coloque los cubos en contenedores metálicos o de vidrio con cierre ajustado (Nota A1.1), selle los contenedores herméticos al aire, y almacene a $38,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 27 días. Deje que los especímenes se enfíen a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ antes de ensayar.

NOTA A1.1: Utilizar cualquier contenedor metálico que tenga capacidad para los tres cubos y que pueda ser sellado herméticamente. Se ha encontrado que los contenedores de lámina metálica con estañado liviano con dimensiones internas de 52 por 52 por 160 mm son satisfactorios. Los recipientes Mason de boca ancha de 1 L de capacidad son satisfactorios, siempre que se tenga cuidado en prevenir la rotura de los mismos.

(Advertencia: Las mezclas cementosas hidráulicas frescas son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y los tejidos bajo una exposición prolongada.)

A1.3 Ensayo de resistencia a compresión

A1.3.1 Determinar la resistencia a compresión de los tres especímenes de la mezcla de control y de la mezcla de ensayo a una edad de 28 días de acuerdo con la NTP 334.051.

A1.4 Cálculos

A1.4.1 Calcular el índice de actividad con cemento Portland como se indica a continuación:

$$\text{Índice de actividad con cemento Portland} = (A/B) \times 100 \quad (\text{A1.1})$$

Donde:

A: Resistencia a compresión media de los cubos de mezcla de ensayo, MPa, y

B: Resistencia a compresión media de los cubos de mezcla de control, MPa

A1.5 Precisión y sesgo

A1.5.1 Precisión: La precisión de un único operador, sobre cementos adicionados utilizando ceniza volante es esencialmente la misma que sobre combinaciones de ceniza volante/cemento en investigaciones realizadas y se ha encontrado que tiene un coeficiente de variación de 3,8 % (1s %). Esto indica que no se espera que los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador difieran en más de 10,7 % (d2s) de la media de los dos resultados. Como el ensayo es realizado únicamente con el propósito de la certificación del fabricante de la calidad de la materia prima, no es aplicable la precisión entre diferentes laboratorios.

A1.5.2 Sesgo: Como no existen materiales normalizados de referencia, el sesgo no puede ser determinado.

A2. ENSAYO DEL INDICE DE AZUL DE METILENO PARA CALIZA

A.2.1 OBJETIVO

A2.1.1 Este anexo describe los procedimientos de laboratorio para la determinación cuantitativa del índice de adsorción del colorante azul de metileno de la piedra caliza para ser usado como adición en el cemento.

A2.1.2 El texto de este anexo hace referencia a notas y notas al pie de página que proporcionan material explicativo. Estas notas y notas al pie de página (excluyendo las que se encuentran en tablas y figuras) no deberán considerarse como requisitos de este anexo.

A2.1.3 Unidades - Los valores indicados en unidades del SI deben ser considerados como estándares. No se incluyen otras unidades de medida en este anexo.

A2.2 Resumen del ensayo

A2.2.1 La muestra es reducida a polvo fino antes del ensayo. Los incrementos de solución del colorante azul de metileno son agregados de manera sucesiva a una suspensión de la muestra del ensayo preparada en agua. La adsorción de la solución del colorante por la suspensión es verificada después de cada adición de la solución llevando a

cabo un ensayo de la mancha sobre papel filtro para detectar la presencia de colorante libre. Cuando se confirma la presencia de colorante libre, el valor del índice del azul de metileno (IAM) se calcula y expresa en gramos de colorante adsorbido por 100 g de muestra ensayada.

A2.3 Significado y uso

A2.3.1 Este anexo proporciona un medio para determinar la cantidad de colorante azul de metileno adsorbido por una muestra de piedra caliza finamente molida. El colorante azul de metileno es de preferencia adsorbido por minerales de arcilla que pueden estar presentes en la piedra caliza. La cantidad de colorante adsorbido está relacionado con el tipo y el contenido de arcilla. Ciertas arcillas pueden incrementar la demanda de agua o afectar otras propiedades de los cementos si están presentes en cantidad suficiente en la piedra caliza cuando se usa un ingrediente en el cemento. La especificación establece un límite en el índice del azul de metileno de la piedra caliza permitido como adición en el cemento.

A2.4 Aparatos

A2.4.1 El equipo y los materiales, la temperatura y humedad del laboratorio, los materiales secos y el agua de mezclado, deberán cumplir con los requisitos de la especificación ASTM C511, a menos que se especifique lo contrario.

A2.4.2 Se deberá incluir el siguiente equipo para realizar el ensayo:

- (a) bureta, con capacidad de 100 o 50 mL y deberá estar graduada a 1/10 mL o a 1/5 mL, o una micropipeta de 5 mL y una de 2 mL;
- (b) papel filtro, cuantitativo y libre de cenizas (< 0.010 %); 95 g/m²; espesor de 0,20 mm; velocidad de filtración de 75 s; tamaño de poro 20 µm;
- (c) varilla de vidrio, de 300 mm de longitud y 8 mm de diámetro.
- (d) agitador impulsor, capaz de controlar velocidades de rotación variables hasta de 600 ± 60 r/min con tres o cuatro aletas impulsoras de 75 ± 10 mm de diámetro (véase Nota A2.1);
- (e) balanza, legible al 0,1 % de la masa a ser pesada.
- (f) cronómetro, legible a 1 seg

- (g) tamiz de ensayo, apertura de 2 mm, con protector de tamiz, si procede.
- (h) vaso de precipitado, de vidrio o de plástico, con una capacidad de 1 L o alrededor de 2L;
- (i) matraz aforado, capacidad de 1L;
- (j) horno ventilado, termostáticamente controlado para mantener una temperatura de 105 ± 5 °C (véase nota.2.1)
- (k) termómetro, legible a 1 °C ;
- (l) espátula;
- (m) desecador;
- (n) botella de almacenamiento de cristal tintado, y
- (o) un tamiz de 63- μ m (No. 230) que se ajuste a los requisitos de la especificación ASTM E11

NOTA A2.1: Se pueden usar tipos alternativos de mezcladores si se puede demostrar que los resultados obtenidos están de acuerdo con los resultados producidos usando un agitador impulsor tal como se describe en el apartado A2.4.2 (d).

A2.5 Reactivos y materiales

A2.5.1 Para realizar este ensayo, se deberán incluir los siguientes materiales:

- (a) azul de metileno ($C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot nH_2O$ ($n = 2$ a 3) de $\geq 98,5$ % de pureza
- (b) caolinita; y
- (c) agua.

A2.6 Procedimiento

A2.6.1 Preparación de la solución de azul de metileno (10 g/L):

A2.6.1.1 Determinación del contenido de humedad del polvo azul de metileno. La

determinación del contenido de humedad del polvo azul de metileno deberá ser como sigue:

- (a) Pesar $5 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ de polvo azul de metileno y registrar la masa;
- (b) Secar el polvo a $100 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta masa constante (Véase Nota A2.2);
- (c) Enfriar el polvo en el desecador y pesar inmediatamente después de sacarlo del desecador y registrar la masa con una aproximación de $0,01 \text{ g}$;
- (d) Calcular y registrar el contenido de agua del azul de metileno, con una aproximación de $0,01 \%$ en masa, usando la siguiente ecuación:

$$W = \left(\frac{M_h - M_g}{M_h} \right) \times 100 \quad (\text{A2.1})$$

donde:

- W = contenido de humedad, % en masa,
M_h = masa del azul de metileno, g, y
M_g = masa del polvo de azul de metileno desecado, g.

El contenido de humedad deberá determinarse para la preparación de cada nuevo batch de la solución del colorante azul de metileno

NOTA A2.2: A una temperatura superior a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, el polvo azul de metileno puede alterarse.

A2.6.1.2 Preparación de la solución del colorante azul de metileno - La preparación de la solución de colorante azul de metileno debe ser como sigue:

- (a) Calcular la masa del polvo de azul de metileno requerido para proporcionar $10 \pm 0,01 \text{ g}$ de polvo seco según la ecuación:

$$M = (100 + W)/10 \quad (\text{A2.2})$$

donde:

- M = Masa del polvo de azul de metileno sin secar (tal como se

recibió), g, y

W = Contenido de humedad del polvo tal como se determinó en el apartado A2.6.1.1, % en masa

- (b) Calentar entre 500 y 700 mL de agua destilada o desmineralizada en un vaso de precipitado sin exceder los 40 °C ;
- (c) Agitar los contenidos del vaso de precipitado mientras se vierte lentamente el polvo de azul de metileno tal como se calculó en el apartado A2.6.1.2 (a) al interior del agua caliente;
- (d) Continuar agitando durante 45 minutos hasta lograr que el polvo se disuelva por completo, y luego dejar que este enfrie hasta 20 °C .
- (e) Verter la solución de manera cuantitativa a un matraz aforado de 1 L, asegurándose de que el matraz y el agua estén a la temperatura de 20 ± 1 °C, y diluir a volumen;
- (f) Agitar el matraz para asegurar un mezclado completo y transferir los contenidos a la botella de almacenamiento de vidrio tintado;
- (g) Marcar la botella de almacenamiento con el nombre de la preparación, fecha de preparación, fecha de expiración y la concentración de la solución "10 g/L de azul de metileno". Una solución de azul de metileno mayor a 28 días no deberá usarse.

A2.6.2 Descripción del ensayo de la mancha - Después de cada inyección del colorante, el ensayo de la mancha deberá conducirse tomando una gota de suspensión por medio de una varilla de vidrio y depositándola sobre el papel filtro. La mancha formada está compuesta de un depósito central de material, generalmente de un sólido color azul, rodeada por una zona húmeda incolora. La cantidad de gota tomada deberá ser tal que el diámetro del depósito sea entre 8 y 12 mm . El ensayo deberá considerarse positivo si, en la zona húmeda, un halo que consiste en un anillo azul de luz persistente de aproximadamente 1 mm se forma alrededor del depósito central.

NOTA A2.3: A medida que el punto final se aproxima, el halo aparecerá, pero puede desaparecer de nuevo debido a que los minerales de arcilla pueden tomar algún tiempo para completar su adsorción del colorante. Por esta razón el punto final se confirma mediante la repetición del ensayo de la mancha a intervalos de 1 min durante 5 min sin añadir más solución de colorante.

NOTA A2.4: Un ensayo de caolinita de un valor conocido de AM_k debería llevarse a cabo a intervalos regulares para verificar la constancia de los resultados. Este procedimiento también debería

ser usado para verificar una nueva solución de colorante

A2.6.3 Preparación de la muestra:

A2.6.3.1 Caolinita—Secar la caolinita hasta masa constante a 110 ± 5 °C en una cantidad suficiente para obtener por lo menos 30 g de material seco. Permitir que la muestra enfíe en un desecador hasta masa constante.

A2.6.3.2 Piedra caliza—Una muestra de por lo menos 100 g deberá ser secada a 110 ± 5 °C hasta masa constante y se deberá dejar que enfíe en un desecador. Reducir la muestra desecada para que pase a través de un tamiz de 63- μm (N° 230).

NOTA A2.5: Se ha encontrado que muestras molidas que pasan a través de tamices de 212- μm y 75- μm (ASTM E11 N° 70 y N° 200) producen rendimientos similares y resultados consistentes en una piedra caliza con un valor de azul de metileno conocido (p.ej. previamente determinado). Se encontró que los resultados aproximados de finura Blaine de estos tamices eran de 250 m²/kg y 630 m²/kg, respectivamente. La experiencia en Europa sugiere que pasar a través de un tamiz de 63 μm (ASTM E11 N° 230) es adecuado para aproximarse a la finura similar de Blaine.

A2.6.4 Preparación de la suspensión - Preparar la muestra de la suspensión como sigue:

- (a) Si se usa un agitador impulsor, asegurarse de que el mezclador esté aproximadamente 10 mm por encima de la base del recipiente de mezclado.
- (b) Agitar la solución colorante o, de manera alternativa, mezclarla por completo, llenar la bureta con solución colorante, y retornar el stock de solución colorante a un lugar oscuro.
- (c) Pesar $30,0 \pm 0,1$ g de muestra seca (caolinita o piedra caliza) y registrar la masa de la caolinita como M_{K1} , la masa de la piedra caliza como M_{L1} .
- (d) Verter la muestra a un vaso de precipitado que contenga 500 mL de agua destilada o desmineralizada; agitando a una velocidad suficiente para dispersar la muestra cuando mientras es añadida.
- (e) Incrementar la velocidad de agitación para asegurar que los contenidos estén por completo en suspensión, y agitar los contenidos del vaso de precipitado durante 5 minutos (véase la Nota A2.6)
- (f) Inyectar 5mL de la solución colorante de azul de metileno a la suspensión y

reducir la velocidad de agitación hasta 400 ± 40 r/min para el resto del ensayo.

- (g) Llevar a cabo el ensayo de la mancha según el apartado A2.6.5.
- (h) Si no hay suficientes finos en la porción de ensayo de la piedra caliza como para obtener un halo, se debe añadir $30,0 \pm 0,1$ g de caolinita (secada a 110°C) junto con V_K mL de solución, donde V_K = el volumen de la solución de colorante adsorbida por 30 g de caolinita.

NOTA A2.6: Para un agitador impulsor, se requieren velocidades de rotación del agitador hasta 600 r/min \approx 60 r/min.

A2.6.5 Determinación de la cantidad de colorante adsorbido—Determinar la cantidad de colorante adsorbido como sigue:

- (a) Colocar el papel de filtro encima de un vaso de precipitados vacío, o sobre algún otro soporte apropiado, de modo que la mayor parte de su superficie no esté en contacto con ningún sólido o líquido.
- (b) Después de por lo menos 1 min. de agitación a la velocidad más baja de 400 \pm 40 r/min luego de la inyección del colorante, llevar a cabo un ensayo de la mancha sobre el papel filtro.
- (c) Asegurarse de que la cantidad de gota tomada sea tal que el depósito tenga un diámetro de entre 8 y 12 mm .
- (d) Si después de la adición de los 5 mL iniciales de solución colorante el halo no ha aparecido, agregar 5 mL más de solución colorante, continuar agitando por 1 min, y realizar otro ensayo de la mancha.
- (e) Si un halo todavía no aparece, continuar agitando, haciendo adiciones de colorante y ensayos de la mancha de esta manera hasta que se observe un halo. Cuando se alcance esta etapa, continuar agitando y sin adiciones posteriores de solución colorante, realizar ensayos de la mancha en intervalos de 1 min.
- (f) Si el halo desaparece durante los primeros 4 min, añadir un adicional de 5 mL de solución colorante. Si el halo desaparece durante el quinto minuto, añadir solo 2 mL de solución colorante. En cualquier otro caso, continuar agitando y hacer ensayos de la mancha hasta que el halo persista durante 5 minutos.

- (g) Registrar el volumen total de solución colorante (para caolinita como V_K , para piedra caliza como V_T) añadida para producir un halo que persista durante 5 min, con una aproximación de 1mL .
- (h) Si para la porción de ensayo de la piedra caliza no aparece un halo, repetir el ensayo con la adición de materiales tal como se describe en el apartado A2.6.4 (h).
- (i) Si la muestra bajo ensayo fue la caolinita, calcular y registrar el valor de AM_K de acuerdo con la Ec. A2.3. Para la piedra caliza, calcular y registrar el valor AM de acuerdo con la Ec. A2.4.

NOTA A2.7: Los recipientes deben ser limpiados completamente con agua tan pronto como los ensayos sean completados. Trazas de cualquier detergente usado deberán ser removidas con un minucioso enjuague. Se recomienda que los recipientes usados en los ensayos de azul de metileno sean reservados específicamente para ese ensayo.

A2.7 Cálculo e informes

A2.7.1 El valor del azul de metileno de caolinita, AM_K , expresado en g de colorante por 100 g de la muestra procesada deberá darse por la siguiente ecuación:

$$AM_K = \frac{V_K}{M_{K1}} \quad (A2.3)$$

donde:

M_{K1} = la masa de la muestra de caolinita, g, y

V_K = el volumen total de la solución de colorante inyectada, mL .

El valor AM_K deberá registrarse con una aproximación de 0,01 g de colorante por 100 g de la muestra procesada.

A2.7.2 El valor de azul de metileno de piedra caliza, AM , expresado en g de colorante por 100 g de la muestra procesada deberá darse mediante la siguiente ecuación:

$$AM = \frac{V_T + V_K}{M_{K1}} \quad (A2.4)$$

donde:

V_K = volumen de solución de colorante adsorbido por caolinita de 30 g, si hubiera caolinita y colorante adicional agregado, mL ,

M_{T1} = la masa de la porción del ensayo, g, y

V_T = el volumen total de la solución de colorante inyectada, mL .

El valor de AM deberá reportarse con una aproximación de 0,01 g de colorante por 100 g de la muestra procesada.

A2.8 Precisión y sesgo

A2.8.1 Precisión: No se ha finalizado un estudio completo inter-laboratorios para este método de ensayo, por lo tanto ninguna información sobre precisión está disponible en este momento.

A2.8.2 Sesgo: El sesgo no puede determinarse porque no está disponible ningún material que tenga un valor de referencia aceptado

A3. CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL DE PIEDRA CALIZA

A3.1 Alcance

A3.1.1 Este anexo especifica los procedimientos de laboratorio para la determinación cuantitativa del contenido de carbono orgánico total de piedra caliza para ser usado como adición en el cemento.

A3.1.2 El texto de este anexo hace referencia a notas y notas al pie de página que proporcionan material explicativo. Estas notas y notas al pie de página (excluyendo las que se encuentran en tablas y figuras) no deberán considerarse como requisitos de este anexo.

A3.1.3 Unidades - Los valores indicados en unidades del SI deben considerarse como estándares. No se incluyen otras unidades de medida en este anexo.

A3.2 Resumen del ensayo

A3.2.1 El carbono orgánico total se determina ya sea en una muestra de la cual se ha removido carbono inorgánico a través de la extracción de ácido clorhídrico o por diferencia de carbono inorgánico del carbono total.

A3.3 Significado y uso

A3.3.1 Este anexo proporciona un medio para determinar el contenido de carbono orgánico total de una muestra de caliza finamente molida en los concretos con incorporadores de aire. El contenido de carbono orgánico de piedra caliza usado como adición en el cemento puede incrementar la dosificación del agente que incorpora aire requerida para lograr un contenido específico de aire en el concreto. La especificación establece un límite en el contenido de carbono orgánico total de piedra caliza permitido como ingrediente en el cemento mezclado.

A3.4 Aparatos

A3.4.1 El equipo deberá cumplir con los requisitos de la especificación C511, a menos que se especifique lo contrario.

A3.4.2 Se deberá incluir el siguiente equipo para realizar este ensayo:

- (a) balanza analítica, precisión = 0,1 mg;
- (b) vaso de precipitado, 800 mL;
- (c) matraz de vacío, 1000 mL;
- (d) frita de vidrio, 40 mm de diámetro, y porosidad = G4;
- (e) agitador magnético;
- (f) barra magnética para agitar;

- (g) homo, capaz de mantener una temperatura de $45 \pm 5^\circ\text{C}$;
- (h) mortero y majadero hechos de ágata;
- (i) caldera de inducción equipada con detección de carbono; y
- (j) analizador termo-gravimétrico.

A3.5 Reactivos y materiales

A3.5.1 Para realizar este ensayo, se deberán incluir los siguientes materiales:

- (a) ácido clorhídrico, grado analítico, $w(\text{HCl}) = 32\%$;
- (b) ácido nítrico, grado analítico, $w(\text{HNO}_3) = 65\%$;
- (c) solución de nitrato de plata, $c(\text{AgNO}_3) = 2 \text{ mol/L}$;
- (d) fuentes de gas que se requieren para los analizadores, (es decir, oxígeno, aire, o nitrógeno); y
- (e) agua desmineralizada.

A3.6 Preparación de la muestra

A3.6.1 La muestra deberá secarse a $45 \pm 5^\circ\text{C}$ y prepararse para pasar por un tamiz de $150 \mu\text{m}$ ($N^\circ 100$) que se ajuste a los requisitos de la Especificación ASTM E11.

A3.7 Métodos para determinar el carbono

A3.7.1 Métodos para determinar el carbono orgánico - La determinación del carbono orgánico deberá conducirse de acuerdo con una de las siguientes opciones:

- (a) Remover el carbono inorgánico de acuerdo con el apartado A3.7.3, seguido de la determinación del carbono inorgánico restante de acuerdo con el apartado A3.8; o
- (b) Determinar el carbono inorgánico de acuerdo con el apartado A3.7.2 y, en

una sub-muestra separada, determinar el carbono total de acuerdo con el apartado A3.8. El carbono orgánico será calculado por la diferencia entre el carbono total y el carbono inorgánico.

A3.7.2 Determinación del carbono inorgánico por análisis termo-gravimétrico - Este método implica la determinación de la pérdida de masa de la muestra a diferentes temperaturas. El calentamiento de una muestra a través de un rango de temperatura explica la diferenciación de pérdida de masa basándose en la forma mineral (por ejemplo, CaCO_3 , MgCO_3 , Ca(OH)_2 , etc.). La información operacional específica la proporcionan los fabricantes del equipo. Si el carbono libre está presente, una atmósfera inerte (por ejemplo, nitrógeno) deberá usarse para el análisis de la muestra. El carbono inorgánico deberá calcularse del dióxido de carbono total liberado durante el análisis. El carbono inorgánico tal cual se determina deberá registrarse como T_1 . El carbono orgánico total deberá calcularse de acuerdo con la Ec. A3.1.

A3.7.3 Remoción del carbono inorgánico por extracción de ácido clorhídrico - El carbono inorgánico deberá removerse de la muestra por extracción del ácido clorhídrico como sigue:

- (a) Verter 100 mL de agua desmineralizada y 80 mL de ácido clorhídrico, a intervalos de 10 mL, en un vaso de precipitado. Agregar una barra magnética para agitar y agitar.
- (b) Agregar 2 g de la muestra, pesada con una aproximación de 0,1 mg, al ácido clorhídrico diluido.
- (c) Después que la evolución del dióxido de carbono se ha detenido, agregar 100 mL de agua desmineralizada y agitar la solución durante 2 horas.
- (d) Filtrar la solución a través de una frita de vidrio tarada, que fue previamente secada a $105 \pm 5^\circ\text{C}$. El filtrado debe ser claro. Filtrar el filtrado de nuevo si todavía está turbio.
- (e) Lavar el residuo con agua desmineralizada hasta que se dé una reacción negativa del cloruro. Controlar con ácido nítrico y nitrato de plata.
- (f) Secar la frita de vidrio con el residuo en el homo a una temperatura de $45 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta su masa constante.
- (g) Pulverizar el residuo en el mortero y usar para análisis posteriores.

- (h) Analizar el carbono en el residuo de acuerdo con una de las opciones detalladas en el apartado A3.8.
- (i) Calcular el carbono inorgánico total de acuerdo con la Ec.A3.2 y A3.3.

NOTA A3.1: El residuo debe estar libre de ácido clorhídrico residual. Los humos del ácido clorhídrico pueden dañar las partes interiores de la caldera de inducción.

A3.8 Determinación del carbono por métodos instrumentales

A3.8.1 General – Los métodos instrumentales reportan el carbono directamente. Si la muestra que está siendo ensayada previamente ha hecho remover el carbono inorgánico a través de la acidificación, el valor resultante corresponderá al resultado C_1 que se menciona en la Ec. A3.3. Si la muestra que está siendo analizada previamente no ha hecho remover el carbono inorgánico, el valor resultante corresponderá a T_c que se menciona en la Ec. A3.1.

A3.8.2 Caldera de inducción y absorción infra-roja - Este método deberá usar la volatilización de la muestra por caldera de inducción y detección de carbono por absorción infra-roja. Estándares adecuados de calibración (por ejemplo, carbonato de calcio y carbono sintético) están disponibles a partir de algunos fabricantes de instrumentos. Los SRM de cemento de NIST con adiciones conocidas de caliza arcillosa de NIST (u otros estándares adecuados) también deberían considerarse para verificar la calibración del instrumento.

NOTA A3.2: Véase los Métodos de Ensayo ASTM E1019 para más información sobre la determinación de carbono por el método de medida instrumental de combustión.

A3.8.3 Método de combustión gravimétrica - El método de combustión gravimétrica, realizado de acuerdo con la ASTM E350, es adecuado para la determinación de carbono en concentraciones de 0,05 a 1,80 % en masa (como dióxido de carbono en concentraciones de 0,18 a 6,60 % en masa). En este Método de Ensayo, la muestra deberá quemarse en una corriente de oxígeno. Entonces, el dióxido de carbono en los gases desprendidos deberá recolectarse en un absorbente conveniente y su masa determinada. El tiempo de análisis deberá ser menor a 10 min.

NOTA A3.3: Véase la ASTM E350 para mayor información sobre la determinación de carbono por el método gravimétrico de combustión.

A3.9 Cálculo e informes

A3.9.1 El carbono orgánico total deberá reportarse con una aproximación de 0,1 % en masa.

A3.9.2 Cálculo de carbono orgánico total por diferencia - El carbono orgánico total deberá calcularse restando el carbono inorgánico determinado de acuerdo con el apartado A3.7.2 del carbono total tal cual se determina por una de las opciones detalladas en el apartado A3.8 como sigue:

$$COT = T_c - T_i \quad (A3.1)$$

donde:

COT = carbono orgánico total, % en masa,

T_c = carbono total determinado en la muestra (Apartado A3.8), % en masa, y

T_i = carbono inorgánico total determinado en la muestra (Apartado A3.7.2), % en masa.

A3.9.3 Cálculo del carbono orgánico total por método de decarbonatación - El residuo insoluble deberá calcularse como sigue:

$$R = \frac{(m_2 - m_3) \times 100}{m_1} \quad (A3.2)$$

donde:

R = residuo insoluble, % en masa,

m_1 = peso de la muestra, g,

m_2 = vacío de frita de vidrio, g, y

m_3 = frita de vidrio con residuo insoluble, g.

El carbono orgánico total deberá calcularse como sigue:

$$COT = \frac{(G_1 \times 80)}{100} \quad (A3.3)$$

donde:

- COT = carbono orgánico total, % en masa,
R = residuo insoluble, % en masa, y
C₁ = contenido de carbono de la muestra tratada con ácido clorhídrico, % en masa.

A3.10 Precisión y sesgo

A3.10.1 Precisión - Un estudio completo inter-laboratorios no ha sido terminado por ASTM para este método de ensayo, por lo tanto ninguna información de precisión está disponible en este momento (véase la Nota A3.4).

NOTA A3.4: La CSA A3004-D2, en la que se basa este procedimiento, expresa que para que un ensayo de de-carbonación sea conducido adecuadamente:

- (a) Se ha encontrado que el límite de detección es 0,02 % en carbono macizo.
- (b) Se ha encontrado que el límite de cuantificación es 0,05 % en carbono macizo.

A3.10.2 Sesgo - El sesgo no puede determinarse porque no está disponible ningún material que tenga un valor de referencia aceptado.

ANEXO B (INFORMATIVO)

B1. ENSAYO DE CONFORMIDAD EN RELACIÓN A UN VALOR AM ESPECIFICADO

B1.1 Una verificación de la conformidad con un valor especificado de azul de metileno puede llevarse a cabo haciendo una única adición de solución de colorante. El volumen de solución de colorante a ser inyectada al mismo tiempo se da en la siguiente ecuación:

$$V_2 = (MB_1 \times M_1 + V_1) \quad (B1.1)$$

donde:

V_2 = volumen de la solución de colorante a ser inyectada, en mL,

M_1 = la masa de la porción del ensayo, en g,

MB_1 = el valor de AM especificado, en g de colorante por 100 g de la muestra procesada, y

V_1 = el volumen de la solución de colorante en mL adsorbida por alguna caolinita agregada.

B1.2 Después de la preparación de una porción del ensayo, la suspensión debería prepararse usando la porción del ensayo, el agua y, si fuera necesario, la caolinita, pero incluyendo el volumen de la solución de colorante. El ensayo de la mancha debería llevarse a cabo después de agitar la suspensión durante 8 min a 400 ± 40 r/min. Si el ensayo de la mancha es positivo, se puede asumir que la caliza se ajusta a la especificación. Sin embargo, si el ensayo de la mancha es negativo, la determinación completa que se describe en el Anexo A2 debería llevarse a cabo.



Standard Specification for Blended Hydraulic Cements¹

This standard is issued under the fixed designation C595/C595M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification pertains to blended hydraulic cements for both general and special applications, using slag or pozzolan, or both, with portland cement or portland cement clinker or slag with lime.

NOTE 1—This specification prescribes ingredients and proportions, with some performance requirements whereas Performance Specification C1157 is a hydraulic cement specification in which performance criteria alone govern the products and their acceptance.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard. Values in SI units [or inch-pound units] shall be obtained by measurement in SI units [or inch-pound units] or by appropriate conversion, using the Rules for Conversion and Rounding given in IEEE/ASTM SI 10, of measurements made in other units [or SI units]. Values are stated in only SI units when inch-pound units are not used in practice.

1.3 The text of this standard refers to notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) are not requirements of the standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

C109/C109M Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C01 on Cement and is the direct responsibility of Subcommittee C01.10 on Hydraulic Cements for General Concrete Construction.

Current edition approved April 1, 2010. Published May 2010. Originally approved in 1967. Last previous edition approved in 2009 as C595/C595M-09. DOI: 10.1520/C0595_C0595M-10.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- C114 Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement
- C150 Specification for Portland Cement
- C151 Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement
- C157/C157M Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete
- C183 Practice for Sampling and the Amount of Testing of Hydraulic Cement
- C185 Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar
- C186 Test Method for Heat of Hydration of Hydraulic Cement
- C187 Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement
- C188 Test Method for Density of Hydraulic Cement
- C191 Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle
- C204 Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus
- C219 Terminology Relating to Hydraulic Cement
- C226 Specification for Air-Entraining Additions for Use in the Manufacture of Air-Entraining Hydraulic Cement
- C227 Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)
- C265 Test Method for Water-Extractable Sulfate in Hydrated Hydraulic Cement Mortar
- C311 Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete
- C430 Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45- μ m (No. 325) Sieve
- C465 Specification for Processing Additions for Use in the Manufacture of Hydraulic Cements
- C563 Test Method for Approximation of Optimum SO₃ in Hydraulic Cement Using Compressive Strength
- C688 Specification for Functional Additions for Use in Hydraulic Cements
- C821 Specification for Lime for Use with Pozzolans
- C1012 Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution
- C1157 Performance Specification for Hydraulic Cement

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

IEEE/ASTM SI 10 Standard for Use of the International System of Units (SI): the Modern Metric System

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The terms used in this specification are defined in Terminology C219, except for the following terms:

3.1.1 *binary blended cement, n*—a blended hydraulic cement consisting of portland cement with either a slag cement or a pozzolan.

3.1.2 *ternary blended cement, n*—a blended hydraulic cement consisting of portland cement with either a combination of two different pozzolans, or slag cement and a pozzolan.

4. Classification

4.1 This specification applies to the following types of blended cement that generally are intended for use as indicated.

4.1.1 Blended hydraulic cements for general concrete construction.

4.1.1.1 *Type IS*—Portland blast-furnace slag cement.

4.1.1.2 *Type IP*—Portland-pozzolan cement.

4.1.1.3 *Type IT*—Ternary blended cement.

4.2 *Reporting:*

4.2.1 The naming practice for blended cements shall be made by adding the suffix (X) to the type designation under 4.1.1, where (X) equals the targeted percentage of slag or pozzolan in the product expressed as a whole number by mass of the final blended product, within the allowable variation as stated in 14.3.

4.2.2 The naming practice for ternary blended cements shall be made by adding the suffixes (AX) and (BY) to the Type IT designation under 4.1.1, where:

A is either “S” for slag cement, or “P” for pozzolan, whichever is present in larger amount by mass, and X is the targeted percentage by mass of constituent A, and B is either “S” for slag cement, or “P” for pozzolan, and Y is the targeted percentage by mass of constituent B.

Both X and Y values are expressed as a whole number by mass of the final blended product, within the allowable variation as stated in 14.3. If X and Y are the same, list the pozzolan content first.

NOTE 2—Examples of the naming practice per 4.2.1 and 4.3 are shown below (all percentages by mass):

Binary blended cement with 80 % portland cement and 20 % slag cement = IS(20).

Binary blended cement with 85 % portland cement and 15 % pozzolan = IP(15).

Ternary blended cement with 70 % portland cement, 20 % slag cement

and 10 % pozzolan = IT(S20)(P10).

Ternary blended cement with 65 % portland cement, 25 % of one pozzolan and 10 % of another pozzolan = IT(P25)(P10).

Ternary blended cement with 60 % portland cement and 20 % of slag cement and 20 % pozzolan = Type IT(P20)(S20).

4.2.3 A simplified naming practice is used in this standard for practicality and clarity when referring to specific requirements for binary and ternary blended cements that are applicable to a range of products or in ternary blended cements when requirements are applicable to only one constituent within a specific range (%). (See Note 3)

NOTE 3—Examples of the simplified naming practices per 4.2.3 are shown below:

1) An example when requirements are applicable to a range of products can be found in Table 1, where the maximum SO₃ content of 3 % applies to: binary blended cements with slag cement contents <70 %, indicated as IS(<70); ternary blended cements with a pozzolan content less than the slag cement content and the slag cement content is less than 70 %, indicated as IT(P<S<70).

2) An example when requirements are applicable to only one constituent within a specific range (%) of that constituent can be found in 8.2, where testing is required only when the slag cement content is <25 %. Because the requirement is based on the slag cement content only with no relation to the pozzolan content, a simplified naming practice is employed and the range of ternary blended cements are indicated as Type IT(S<25).

4.3 *Special Properties:*

4.3.1 Air-entraining cement, when desired by the purchaser, shall be specified by adding the suffix (A) to any of the above types. The air-entraining option is specified in combination with any of the other special properties where required.

NOTE 4—A given mass of blended cement has a larger absolute volume than the same mass of portland cement. This should be taken into consideration in purchasing cements and in proportioning concrete mixtures.

4.3.2 Moderate sulfate resistance or moderate heat of hydration, or both, when desired by the purchaser, shall be specified by adding the suffix (MS) or (MH), respectively, to the type designation under 4.1.1.

4.3.3 High sulfate resistance, when desired by the purchaser, shall be specified by adding the suffix (HS) to the type designation under 4.1.1.

NOTE 5—Special characteristics attributable to slag or pozzolan will vary based on quantities contained within the blended cements.

4.3.4 Low heat of hydration, when desired by the purchaser, shall be specified by adding the suffix (LH) to the type designation under 4.1.1.

TABLE 1 Chemical Requirements

Cement Type ^A	Applicable Test Method	IS(< 70), IT(P<S<70)	IS(≥ 70), IT(S≥70)	IP, IT(P≥S)
Magnesium oxide (MgO), max, %	C114	...	...	6.0
Sulfate reported as SO ₃ , max, % ^B	C114	3.0	4.0	4.0
Sulfide reported as S ²⁻ , max, %	C114	2.0	2.0	...
Insoluble residue, max, %	C114	1.0	1.0	...
Loss on ignition, max, %	C114	3.0	4.0	5.0

^AThe chemical requirements in this table are applicable to all air-entrained cement equivalents.

^BWhen it has been demonstrated by Test Method C563 that the optimum SO₃ exceeds a value 0.5 % less than the specification limit, an additional amount of SO₃ is permissible provided that, when the cement with the additional calcium sulfate is tested by Test Method C265, the calcium sulfate in the hydrated mortar at 24 ± ¼ h, expressed as SO₃, does not exceed 0.50 g/L. When the manufacturer supplies cement under this provision, he will, upon request, supply supporting data to the purchaser.

5. Ordering Information

5.1 Orders for material under this specification shall include the following:

5.1.1 Specification number,

5.1.2 Type or types required,

5.1.2.1 Indicate allowable slag or pozzolan % maximum or minimum, or both, if required.

5.1.3 Optional special properties required (see 4.3):

5.1.3.1 MS if moderate sulfate resistance is required;

5.1.3.2 HS if high sulfate resistance is required;

5.1.3.3 MH if moderate heat of hydration is required;

5.1.3.4 LH if low heat of hydration is required;

5.1.3.5 A if air entraining is required;

5.1.3.6 Accelerating addition, if required;

5.1.3.7 Retarding addition, if required;

5.1.3.8 Water reducing addition, if required;

5.1.3.9 Water reducing and accelerating addition, if required; and

5.1.3.10 Water reducing and retarding addition, if required.

5.1.4 Certification, if desired (see Section 14).

NOTE 6—It is important to check for availability of various options. Some multiple options are mutually incompatible or unattainable.

6. Materials and Manufacture

6.1 *Blast-Furnace Slag*—Blast-Furnace slag shall be the nonmetallic product, consisting essentially of silicates and aluminosilicates of calcium and other bases, that is developed in a molten condition simultaneously with iron in a blast furnace.

6.2 *Granulated Blast-Furnace Slag*—Granulated blast-furnace slag shall be the glassy granular material formed when molten blast-furnace slag is rapidly chilled, as by immersion in water.

6.3 *Slag Cement*—See Terminology C219.

6.4 *Portland Cement*—See Terminology C219. For purposes of this specification, portland cement meeting the requirements of Specification C1157 or Specification C150 are suitable. Portland cement or other hydraulic materials, or both, containing high free lime are not prohibited from use as long as the autoclave test limits for the blended cement are met.

6.5 *Portland Cement Clinker*—Portland cement clinker shall be partially fused clinker consisting primarily of hydraulic calcium silicates.

6.6 *Pozzolan*—Pozzolan shall be a siliceous or siliceous and aluminous material, which in itself possesses little or no cementitious value but which will, in finely divided form and in the presence of moisture, chemically react with calcium hydroxide at ordinary temperatures to form compounds possessing cementitious properties.

6.7 *Hydrated Lime*—Hydrated lime used as part of a blended cement shall meet the requirements of Specification C821, except that when interground in the production process there shall be no minimum fineness requirement.

6.8 *Air-Entraining Addition*—When air-entraining cement is specified, an addition meeting the requirements of Specification C226 shall be used.

6.9 When processing additions are used in the manufacture of cement, they shall have been shown to meet the requirements of Specification C465 in the amounts used or greater, (see Section 14.2).

6.10 When functional additions (used at the sole option of the purchaser) are used they shall have been shown to meet the requirements of Specification C688 when tested with the cement to be used, in the amount used or greater, (see Section 14.2).

6.11 *Other Additions*—The cement covered by this specification shall contain no additions except as provided for above except that water or calcium sulfate (see Terminology C219), or both, if added, shall be in amounts so that the limits shown in Table 1 for sulfate reported as SO₃ and loss on ignition are not exceeded.

6.12 *Binary Blended Cement*—Binary blended cement shall be a hydraulic cement consisting of an intimate and uniform blend (see Note 7) produced either by intergrinding portland cement clinker with a pozzolan or a granulated blast-furnace slag, or a slag cement, or by blending portland cement with a pozzolan or a slag cement, or a combination of intergrinding and blending. The maximum constituent requirements of 6.14 and 6.16 shall apply.

6.13 *Ternary Blended Cement*—Ternary blended cement shall be a hydraulic cement consisting of an intimate and uniform blend (see Note 7) produced either by intergrinding portland cement clinker with 1) two different pozzolans, 2) granulated blast-furnace slag or slag cement and a pozzolan; or by blending portland cement with 1) two different pozzolans or 2) slag cement and a pozzolan, or 3) a combination of intergrinding and blending. Ternary cement type IT(P≥S) and Type IT(P<S<70) shall have a maximum pozzolan content of 40 % by mass of the blended cement and the total content of pozzolan and granulated blast-furnace slag or slag cement shall be less than 70 % by mass of the blended cement.

6.14 *Portland Blast-Furnace Slag Cement*—Portland blast-furnace slag cement shall be a hydraulic cement in which the slag cement constituent is up to 95 % by mass of the blended cement. Binary or ternary blended cement with a slag cement content equal to or exceeding 70 % by mass, is permitted to contain hydrated lime.

NOTE 7—The attainment of an intimate and uniform blend of two or more types of fine materials is difficult. Consequently, adequate equipment and controls must be provided by the manufacturer. The purchasers should assure themselves of the adequacy of the blending operation.

6.15 *Air-Entraining Portland Blast-Furnace Slag Cement*—Air-entraining portland blast-furnace slag cement shall be portland blast-furnace slag cement to which sufficient air-entraining addition has been added so that the resulting product complies with the air content of mortar requirements.

6.16 *Portland-Pozzolan Cement*—Portland-pozzolan cement shall be a hydraulic cement in which the pozzolan constituent is up to 40 % by mass of the blended cement.

6.17 *Air-Entraining Portland-Pozzolan Cement*—Air-entraining portland-pozzolan cement shall be portland-pozzolan cement to which sufficient air-entraining addition has been added so that the resulting product complies with the air content of mortar requirements.

7. Chemical Composition

7.1 Cement of the type specified shall conform to the applicable chemical requirements prescribed in **Table 1**.

7.2 If the purchaser has requested the manufacturer to state in writing the composition of the blended cement purchased, the composition of the cement furnished shall conform to that shown in the statement within the following tolerances (see **Note 8**).

	Tolerance, ± %
Silicon dioxide (SiO ₂)	3
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	2
Calcium oxide (CaO)	3

NOTE 8—This means that if the manufacturer's statement of the composition says "SiO₂: 32 %," the cement when analyzed, shall be found to contain between 29 and 35 % SiO₂.

8. Physical Properties

8.1 *Blended Cement*—Blended cement of the type specified shall conform to the applicable physical requirements prescribed in **Table 2**.

8.2 *Pozzolan or Slag*—Pozzolan or granulated blast-furnace slag or slag cement that is to be blended with cement shall be tested in the same state of subdivision as that in which it is to be blended. Pozzolan shall conform to the fineness requirement and the activity index requirement of **Table 3**. Slag cement that is to be used for portland blast-furnace slag cements Type IS(<25) or ternary blended cements Type IT(S<25) shall conform to the activity index requirement of **Table 3**. Such pozzolan, or granulated blast-furnace slag, or slag cement that is to be interground with portland cement clinker shall, before testing for conformance with requirements of **Table 3**, be ground in the laboratory to a fineness at which it is believed to be present in the finished cement. It is the manufacturer's responsibility to decide on the fineness at which the testing is to be carried out, and when requested to do so by a purchaser, to report the information upon which the decision was based.

8.3 Pozzolan for use in the manufacture of portland-pozzolan cement, Type IP(<15) and IP(<15)-A or ternary blended cements Type IT(P<15) and Type IT(P<15)-A, shall meet the requirements of **Table 3** when tested for mortar expansion of pozzolan as described in **10.1.13**. If the alkali content of the clinker to be used for the production lots changes by more than 0.2 % total as equivalent Na₂O, calculated as Na₂O + 0.658 K₂O, from that of the clinker with which the acceptance tests were carried out, the pozzolan shall be retested to show compliance with the requirements of **Table 3**.

9. Sampling

9.1 Sample the materials in accordance with the following methods:

9.1.1 *Sampling Blended Cements*—Practice **C183**.

9.1.1.1 When the purchaser desires that the cement be sampled and tested to verify compliance with this specification, perform sampling and testing in accordance with Practice **C183**.

9.1.1.2 Practice **C183** is not designed for manufacturing quality control and is not required for manufacturer's certification.

9.1.2 *Sampling Pozzolan*—Test Methods **C311**. One 2 kg [4 lb] sample shall be taken from approximately each 360 Mg [400 tons] of pozzolan.

10. Test Methods

10.1 Determine the applicable properties enumerated in this specification in accordance with the following test methods:

10.1.1 *Chemical Analysis*—Test Methods **C114**, with the special provisions noted therein applicable to blended cement analyses.

10.1.2 *Fineness by Sieving*—Test Method **C430**.

10.1.3 *Fineness by Air-Permeability Apparatus*—Test Method **C204**.

10.1.4 *Autoclave Expansion*—Test Method **C151**, except that, in the case of portland blast-furnace slag cement IS(≥70) or ternary blended cement IT(S≥70), the test specimens shall remain in the moist cabinet for a period of 48 h before being measured for length, and the neat cement shall be mixed for not less than 3 min nor more than 3½ min.

10.1.5 *Time of Setting*—Test Method **C191**.

10.1.6 *Air Content of Mortar*—Test Method **C185**, using the actual specific gravity of the cement, if it differs from 3.15 by more than 0.05, in calculating the air content.

10.1.7 *Compressive Strength*—Test Method **C109/C109M**.

10.1.8 *Heat of Hydration*—Test Method **C186**.

10.1.9 *Normal Consistency*—Test Method **C187**, except that in the case of portland blast-furnace slag cement IS(≥70) or ternary blended cement IT(S≥70), the paste shall be mixed for not less than 3 min nor more than 3½ min.

10.1.10 *Specific Gravity*—Test Method **C188**.

10.1.11 *Water Requirement*—The mass of mixing water added to the six-cube batch in accordance with Test Method **C109/C109M**, as a percentage of the total cementing ingredients.

10.1.12 *Mortar Expansion of Blended Cement*—Test Method **C227**, using crushed Pyrex glass No. 7740³ as aggregate and the grading prescribed in **Table 4**.

10.1.13 *Mortar Expansion of Pozzolan for Use in Portland-Pozzolan Cement Types IP(<15) and IP(<15)-A or Ternary Blended Cement Types IT(P<15) and IT(P<15)-A*—Using the pozzolan and the clinker or cement that are to be used together in the production of the blended cement, prepare portland-pozzolan cements Types IP(<15) and IP(<15)-A or Ternary Blended Cement Types IT(P<15) and IT(P<15)-A containing 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, and 15 mass % of the pozzolan. These blends shall be tested in accordance with Test Method **C227** using a sand judged to be a nonreactive by the mortar bar test in Test Method **C227**. The expansion of the mortar bars shall be measured at 91 days, and all the six blends shall meet the expansion requirement in **Table 3**.

10.1.14 *Drying Shrinkage*—Test Method **C157/C157M**. Make three specimens using the proportion of dry materials of

³ Pyrex Glass No. 7740 is available as lump cullet from the Corning Glass Works, Corning, NY; this is the sole source of supply of the apparatus known to the committee at this time. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,¹ which you may attend.

TABLE 2 Physical Requirements

Cement Type ^A	Applicable Test Method	IS(< 70), IT(P<S<70), IP, IT(P≥S)	IS(< 70) (MS), IT(P<S<70) (MS), IP (MS), IT(P≥S) (MS)	IS(< 70) (HS), IT(P<S<70) (HS), IP (HS), IT(P≥S) (HS)	IS(≥ 70), IT(S≥70)	IP (LH), ^B IT(P≥S) (LH) ^B
Fineness	C204, C430	c	c	c	c	c
Autoclave expansion, max, %	C151	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Autoclave contraction, max, % ^D	C151	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Time of setting, Vicat test: ^E	C191					
Set, minutes, not less than		45	45	45	45	45
Set, hours, not more than		7	7	7	7	7
Air content of mortar, volume %, max ^A	C185	12	12	12	12	12
Compressive strength, min ^A , MPa [psi]:	C109/C109M					
3 days		13.0 [1890]	11.0 [1600]	11.0 [1600]	...	...
7 days		20.0 [2900]	18.0 [2610]	18.0 [2610]	5.0 [720]	11.0 [1600]
28 days		25.0 [3620]	25.0 [3620]	25.0 [3620]	11.0 [1600]	21.0 [3050]
Heat of hydration, max, kJ/kg [cal/g]: ^F	C186					
7 days		290 [70]	290 [70]	290 [70]	...	250 [60]
28 days		330 [80]	330 [80]	330 [80]	...	290 [70]
Water requirement, max weight % of cement	C109/C109M	...	...	...	...	64
Drying shrinkage, max, %	C157/C157M	...	...	...	...	0.15
Mortar expansion, max, %: ^G	C227					
14 days		0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
8 weeks		0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
Sulfate resistance, max, %: ^H	C1012					
Expansion at 180 days		(0.10) ^I	0.10	0.05	...	(0.10) ^I
Expansion at 1 year				0.10	...	

^AAir-entrained cements shall have a mortar air content of 19 ± 3 % by volume and the minimum compressive strength shall be no less than 80 % of the comparable non-air-entrained cement type.

^BApplicable only when higher strengths at early ages are not required or when low heat is required.

^CBoth amount retained when wet sieved on 45-µm (No. 325) sieve and specific surface by air permeability apparatus, m²/kg, shall be reported on all mill test reports requested under 14.4.

^DThe specimens shall remain firm and hard and show no signs of distortion, cracking, checking, pitting, or disintegration when subjected to the autoclave expansion test.

^ETime of setting refers to initial setting time in Test Method C191. The time of setting of cements containing a user-requested accelerating or retarding functional addition need not meet the limits of this table, but shall be stated by the manufacturer.

^FApplicable only when moderate (MH) or low (LH) heat of hydration is specified, in which case the strength requirements shall be 80 % of the values shown in the table.

^GThe test for mortar expansion is an optional requirement to be applied only at the purchaser's request and is not required unless the cement will be used with alkali-reactive aggregate.

^HIn the testing of HS cement, testing at one year shall not be required when the cement meets the 180-day limit. An HS cement failing the 180-day limit shall not be rejected unless it also fails the one-year limit.

^IOptional sulfate resistance criterion that applies only if specifically invoked.



TABLE 3 Requirements for Pozzolan for Use in Blended Cements and for Slag for Use in Portland Blast-Furnace Slag Cement Type IS(< 25) and Ternary Blended Cement Type IT(S<25)

Pozzolan and Slag, as applicable	Applicable Test Method	
Fineness: Amount retained when wet-sieved on 45- μ m (No. 325) sieve, max, %	C430	20.0
Alkali reactivity of pozzolan for use in Types IP(< 15); IT(P<15) and IP(< 15)-A; IT(P<15)-A cements, six tests, mortar bar expansion at 91 days, max, %	C227	0.05
Activity index with portland cement, at 28 days, min, %	(see Annex A1)	75

1 part of cement to 2.75 parts of Test Method **C109/C109M** graded Ottawa sand. Use a curing period of 6 days and an air storage period of 28 days. Report the linear contraction during air storage based on an initial measurement after the 6-day water-curing period.

10.1.15 *Activity Index with Portland Cement*—Test in accordance with **Annex A1**.

10.1.16 *Sulfate Resistance*—see Test Method **C1012**.

11. Testing Time Requirements

11.1 The following periods from time of sampling shall be allowed for the completion of testing:

3-day test	8 days
7-day test	12 days
14-day test	19 days
28-day test	33 days
8-week test	61 days

12. Inspection

12.1 Facilities shall be provided to the purchaser for careful inspection and sampling of the finished cement. Inspection and sampling of finished cement shall be at the mill or distribution site controlled by the manufacturer, or at any other location as agreed by the purchaser and seller.

12.2 The manufacturer shall provide suitable facilities to enable the inspector to check the relative masses of the constituents used, and the intergrinding or blending operation used to produce the cement. The plant facilities for intergrinding or blending and inspection shall be adequate to ensure compliance with the provisions of this specification.

13. Rejection

13.1 At the option of the purchaser, cement shall be rejected if it fails to meet any of the requirements of this specification applicable to the cement. Such rejection shall apply to an optional requirement only if that option has been invoked for the cement.

13.2 When the purchaser requires, cement in bulk storage for a period greater than six months shall be resampled and retested and, at the option of the purchaser, shall be rejected if it fails to meet any of the applicable requirements of this specification. Cement so rejected shall be the responsibility of the owner of record at the time of sampling for retest.

13.3 When the purchaser requires, packages more than 2 % below the mass marked thereon shall be rejected; or if the

average mass of packages in any shipment, as shown by determining the mass of 50 packages taken at random, is less than that marked on the packages, the entire shipment, at the option of the purchaser, shall be rejected.

TABLE 4 Aggregate Grading Requirements for Mortar Expansion Test

Sieve Size		Weight %
Passing	Retained on	
4.75-mm (No. 4)	2.36-mm (No. 8)	10
2.36-mm (No. 8)	1.18-mm (No. 16)	25
1.18-mm (No. 16)	600- μ m (No. 30)	25
600- μ m (No. 30)	300- μ m (No. 50)	25
300- μ m (No. 50)	150- μ m (No. 100)	15

14. Certification

14.1 At the request of the purchaser, the manufacturer shall state in writing the source, amount, and composition of the essential constituents used in manufacture of the finished cement and the composition of the blended cement purchased.

14.2 At the request of the purchaser, the manufacturer shall state in writing the nature, amount, and identity of any processing, functional, or air-entraining addition used; and also, if requested, shall supply test data showing compliance of any such processing addition with the provisions of Specification **C465** and of any such functional addition with the provisions of Specification **C688**, and of any such air-entraining addition with the provisions of Specification **C226**.

14.3 At the request of the purchaser, the manufacturer shall also state in writing that the amount of pozzolan or slag in the finished cement will not vary more than ± 5.0 mass % of the finished cement from lot to lot or within a lot.

14.4 Upon request of the purchaser in the contract or order, a manufacturer's certification shall be furnished indicating that the material was tested during production or transfer in accordance with this specification, that it complies with this specification, and a report of the test results shall be furnished at the time of shipment (to include both amount retained on the 45- μ m (No. 325) sieve and specific surface by the air permeability method).

15. Packaging and Package Marking

15.1 When the cement is delivered in packages, the words, "portland blast-furnace slag cement," "portland-pozzolan cement," or "ternary blended cement" as appropriate; the type of cement, name and brand of the manufacturer, and the mass of the cement contained therein, shall be plainly marked on each package. When the cement contains a functional addition listed in **5.1.3.5-5.1.3.10**, the type of functional addition shall be plainly marked on each package. Similar information shall be provided in the shipping documents accompanying the shipment of packaged or bulk cement. All packages shall be in good condition at the time of inspection.

16. Storage

16.1 The cement shall be stored in such a manner as to permit easy access for proper inspection and identification of

each shipment, and in a suitable weathertight building that will protect the cement from dampness and minimize warehouse set.

17. Keywords

17.1 blended hydraulic cement; fly ash cement; hydraulic cement; portland blast-furnace slag cement; portland pozzolan cement; pozzolanic cement; slag; granulated blast furnace slag

ANNEX

(Mandatory Information)

A1. ACTIVITY INDEX WITH PORTLAND CEMENT

A1.1 Specimen Preparation

A1.1.1 Mold, cure, and test the specimens from a control mix and from a test mix in accordance with Test Method **C109/C109M**. The portland cement used in the control mix shall meet the requirements of Specification **C150**, and shall be the type, and if available, the brand of cement to be used in the work. Make three-cube batches as follows: (For 6- or 9-cube batches, double or triple, respectively, the amounts of dry ingredients.)

A1.1.1.1 Control Mix:

250 g of portland cement
687.5 g of graded Ottawa sand
X mL of water required for flow of 100 to 115

A1.1.1.2 Pozzolan Test Mix:

162.5 g of portland cement
g of pozzolan:
 $87.5 \times \text{sp gr of the sample/sp gr of the portland cement}$
687.5 g of graded Ottawa sand
Y mL of water required for flow of 100 to 115

A1.1.1.3 Slag Test Mix:

75 g of portland cement
g of slag:
 $175 \times \text{sp gr of the slag/sp gr of the portland cement}$
687.5 g of graded Ottawa sand
Z mL of water required for flow of 100 to 115

A1.2 Storage of Specimens

A1.2.1 After molding, place the specimens and molds (on the base plates) in the moist room or closet at 23.0 ± 2.0 °C [73.5 ± 3.5 °F] for 20 to 24 h. While in the moist room or closet, protect the surface from dripping water. Remove the molds from the moist room or closet and remove the cubes from the molds. Place the cubes in close-fitting metal or glass containers (**Note A1.1**), seal the containers airtight, and store at 38.0 ± 2.0 °C [100.0 ± 3.5 °F] for 27 days. Allow the specimens to cool to 23.0 ± 2.0 °C [73.5 ± 3.5 °F] before testing.

NOTE A1.1—Use any metal container having a capacity of three cubes if it can be sealed airtight by soldering. Containers of light-tinned sheet

metal with inside dimensions of 52 by 52 by 160 mm [2 by 2 by 6.25 in.] have been found to be satisfactory. Wide-mouth Mason jars of 1-L capacity have been found to be satisfactory, provided care is taken to prevent breakage.

(**Warning**—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.)⁴

A1.3 Compressive Strength Test

A1.3.1 Determine the compressive strength of the three specimens of the control mix and of the test mix at an age of 28 days in accordance with Test Method **C109/C109M**.

A1.4 Calculation

A1.4.1 Calculate the activity index with portland cement as follows:

$$\text{Activity index with portland cement} = (A/B) \times 100 \quad (\text{A1.1})$$

where:

A = average compressive strength of test mix cubes, MPa, and
B = average compressive strength of control mix cubes, MPa.

A1.5 Precision and Bias

A1.5.1 *Precision*—Single operator precision, on blended cements using fly ash is essentially the same as on fly ash/cement blends in Research Report C09-1001⁵ and it was found to have 3.8 % coefficient of variation (1s %). This indicates that results of two properly conducted tests by the same operator are not expected to differ by more than 10.7 % (d2s) of the average of two results. Since the test is performed solely for the purpose of manufacturer certification of raw material quality, no multilaboratory precision is applicable.

A1.5.2 *Bias*—Since there are no standard reference materials, bias cannot be determined.

⁴ Section on Safety, Manual of Cement Testing, *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.

⁵ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:C09-1001.

SUMMARY OF CHANGES

Committee C01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, C595/C595M–09, that may impact the use of this specification. (Approved April 1, 2010)

(1) Revised 4.2.2, Note 2, 6.13, Table 1, and Table 2.

Committee C01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, C595–08a, that may impact the use of this specification. (Approved June 15, 2009)

(1) Revised Sections 3, 4, 6, 8, 10, 15, and Tables 1-3. (2) Revised the standard as a dual-units specification.

Committee C01 has identified the location of selected changes to this specification since the last issue, C595–08, that may impact the use of this specification. (Approved December 15, 2008)

(1) Revised 6.10. (3) Revised the “IP(LH)” value for “Compressive strength, min: 28 days” in Table 2.
(2) Deleted old Note 5 and renumbered subsequent notes.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).

ANEXO C

DIRECTRICES DEL IPCC DE 2006 PARA LOS INVENTARIOS NACIONALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Capítulo 1 Introducción

Cuadro 1.2 Valores Caloríficos Netos

Cuadro 1.4 Factores de Emisión de CO₂

Capítulo 2 Emisiones de la Industria de los Minerales

Sección: 2.2 Producción de Cemento

CUADRO 1.2 VALORES CALÓRICOS NETOS (VCN) POR DEFECTO Y LÍMITES INFERIOR Y SUPERIOR DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA DEL 95% ¹				
Descripción en español del tipo de combustible		Valor calórico neto (TJ/Gg)	Inferior	Superior
Petróleo crudo		42,3	40,1	44,8
Orimulsión		27,5	27,5	28,3
Gas natural licuado		44,2	40,9	46,9
Gasolina	Gasolina para motores	44,3	42,5	44,8
	Gasolina para la aviación	44,3	42,5	44,8
	Gasolina para motor a reacción	44,3	42,5	44,8
Queroseno para motor a reacción		44,1	42,0	45,0
Otro queroseno		43,8	42,4	45,2
Esquisto bituminoso		38,1	32,1	45,2
Gas/Diesel Oil		43,0	41,4	43,3
Fuelóleo residual		40,4	39,8	41,7
Gases licuados de petróleo		47,3	44,8	52,2
Etano		46,4	44,9	48,8
Nafta		44,5	41,8	46,5
Alquitrán		40,2	33,5	41,2
Lubricantes		40,2	33,5	42,3
Coque de petróleo		32,5	29,7	41,9
Sustancia para alimentación a procesos de refinerías		43,0	36,3	46,4
Otro petróleo	Gas de refinería ²	49,5	47,5	50,6
	Ceras de parafina	40,2	33,7	48,2
	Espíritu blanco y SBP	40,2	33,7	48,2
	Otros productos del petróleo	40,2	33,7	48,2
Antracita		26,7	21,6	32,2
Carbón de coque		28,2	24,0	31,0
Otro carbón bituminoso		25,8	19,9	30,5
Carbón sub-bituminoso		18,9	11,5	26,0
Lignito		11,9	5,50	21,6
Esquisto bituminoso y arena impregnada de alquitrán		8,9	7,1	11,1
Briquetas de carbón de lignito		20,7	15,1	32,0
Combustible evidente		20,7	15,1	32,0
Coque	Coque para horno de coque y coque de lignito	28,2	25,1	30,2
	Coque de gas	28,2	25,1	30,2
Alquitrán de hulla ³		28,0	14,1	55,0
Gases derivados	Gas de fábrica de gas ⁴	38,7	19,6	77,0
	Gas de horno de coque ⁵	38,7	19,6	77,0
	Gas de alto horno ⁶	2,47	1,20	5,00
	Gas de horno de oxígeno para aceros ⁷	7,06	3,80	15,0
Gas natural		48,0	46,5	50,4
Desechos municipales (fracción no perteneciente a la biomasa)		10	7	18
Desechos industriales		NA	NA	NA
Óleos de desecho ⁸		40,2	20,3	80,0
Turba		9,76	7,80	12,5

CUADRO 1.4
FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN¹

Descripción en español del tipo de combustible	Contenido de carbono por defecto (kg/GJ)	Factor de oxidación de carbono por defecto	Factor de emisión de CO ₂ eficaz (kg/TJ) ²			
			Valor por defecto ³	Intervalo de confianza del 95%		
				Inferior	Superior	
	A	B	$C=A*B*44/12*1000$			
Petróleo crudo	20,0	1	73 300	71 100	75 500	
Orimulsión	21,0	1	77 000	69 300	85 400	
Gas natural licuado	17,5	1	64 200	58 300	70 400	
Gasolina	Gasolina para motores	18,9	1	69 300	67 500	73 000
	Gasolina para la aviación	19,1	1	70 000	67 500	73 000
	Gasolina para motor a reacción	19,1	1	70 000	67 500	73 000
Queroseno para motor a reacción	19,5	1	71 500	69 700	74 400	
Otro queroseno	19,6	1	71 900	70 800	73 700	
Esquisto bituminoso	20,0	1	73 300	67 800	79 200	
Gas/Diesel oil	20,2	1	74 100	72 600	74 800	
Fuelóleo residual	21,1	1	77 400	75 500	78 800	
Gases licuados de petróleo	17,2	1	63 100	61 600	65 600	
Etano	16,8	1	61 600	56 500	68 600	
Nafta	20,0	1	73 300	69 300	76 300	
Alquitrán	22,0	1	80 700	73 000	89 900	
Lubricantes	20,0	1	73 300	71 900	75 200	
Coque de petróleo	26,6	1	97 500	82 900	115 000	
Sustancia para alimentación a procesos de refinерías	20,0	1	73 300	68 900	76 600	
Otro petróleo	Gas de refinерía	15,7	1	57 600	48 200	69 000
	Ceras de parafina	20,0	1	73 300	72 200	74 400
	Espiritu blanco y SBP	20,0	1	73 300	72 200	74 400
Otros productos del petróleo	20,0	1	73 300	72 200	74 400	
Antracita	26,8	1	98 300	94 600	101 000	
Carbón de coque	25,8	1	94 600	87 300	101 000	
Otro carbón bituminoso	25,8	1	94 600	89 500	99 700	
Carbón sub-bituminoso	26,2	1	96 100	92 800	100 000	
Lignito	27,6	1	101 000	90 900	115 000	
Esquisto bituminoso y arena impregnada de alquitrán	29,1	1	107 000	90 200	125 000	
Briquetas de carbón de lignito	26,6	1	97 500	87 300	109 000	
Combustible evidente	26,6	1	97 500	87 300	109 000	
Coque	Coque para horno de coque y Coque de lignito	29,2	1	107 000	95 700	119 000
	Coque de gas	29,2	1	107 000	95 700	119 000
Alquitrán de hulla	22,0	1	80 700	68 200	95 300	
Gases derivados	Gas de fábricas de gas	12,1	1	44 400	37 300	54 100
	Gas de horno de coque	12,1	1	44 400	37 300	54 100
	Gas de alto horno ⁴	70,8	1	260 000	219 000	308 000
	Gas de horno de oxígeno para aceros ⁵	49,6	1	182 000	145 000	202 000

CAPÍTULO 2

EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES

Autores

Lisa Hanle (Estados Unidos)

Pedro Maldonado (Chile), Eiichi Onuma (Japón), Milos Tichy (República Checa) y Hendrik G. van Oss (Estados Unidos)

Autores colaboradores

Victor O. Aume (Estados Unidos), George H. Edwards (Estados Unidos) y M. Michael Miller (Estados Unidos)

Índice

2	Emisiones de la industria de los minerales.....	2.6
2.1	Introducción.....	2.6
2.2	Producción de cemento.....	2.7
2.2.1	Cuestiones metodológicas.....	2.7
2.2.1.1	Elección del método.....	2.8
2.2.1.2	Elección de los factores de emisión.....	2.13
2.2.1.3	Elección de los datos de la actividad.....	2.15
2.2.1.4	Exhaustividad.....	2.17
2.2.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	2.18
2.2.2	Evaluación de incertidumbre.....	2.18
2.2.2.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	2.18
2.2.2.2	Incertidumbres en los datos de la actividad.....	2.19
2.2.3	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación.....	2.20
2.2.3.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC).....	2.20
2.2.3.2	Generación de informes y documentación.....	2.21
2.3	Producción de cal.....	2.22
2.3.1	Cuestiones metodológicas.....	2.22
2.3.1.1	Elección del método.....	2.23
2.3.1.2	Elección de los factores de emisión.....	2.25
2.3.1.3	Elección de los datos de la actividad.....	2.27
2.3.1.4	Exhaustividad.....	2.28
2.3.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	2.28
2.3.2	Evaluación de incertidumbre.....	2.29
2.3.2.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	2.29
2.3.2.2	Incertidumbres en los datos de la actividad.....	2.29
2.3.3	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación.....	2.30
2.3.3.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC).....	2.30
2.3.3.2	Generación de informes y documentación.....	2.30
2.4	Producción de vidrio.....	2.31
2.4.1	Cuestiones metodológicas.....	2.31
2.4.1.1	Elección del método.....	2.32
2.4.1.2	Elección de los factores de emisión.....	2.33
2.4.1.3	Elección de los datos de actividad.....	2.34
2.4.1.4	Exhaustividad.....	2.35
2.4.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	2.35

2.4.2	Evaluación de incertidumbre	2.35
2.4.2.1	Incertidumbres del factor de emisión	2.35
2.4.2.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	2.35
2.4.3	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	2.36
2.4.3.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	2.36
2.4.3.2	Generación de informes y documentación	2.36
2.5	Otros usos de carbonatos en los procesos	2.37
2.5.1	Cuestiones metodológicas	2.37
2.5.1.1	Elección del método	2.38
2.5.1.2	Elección de los factores de emisión	2.40
2.5.1.3	Elección de los datos de actividad	2.41
2.5.1.4	Exhaustividad	2.41
2.5.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente	2.43
2.5.2	Evaluación de incertidumbre	2.44
2.5.2.1	Incertidumbres del factor de emisión	2.44
2.5.2.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	2.44
2.5.3	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	2.44
2.5.3.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	2.44
2.5.3.2	Generación de informes y documentación	2.45
Referencias	.....	2.45

Ecuaciones

Ecuación 2.1	Nivel 3: Emisiones basadas en la producción de cemento	2.8
Ecuación 2.2	Nivel 2: Emisiones basadas en los datos sobre producción de clínker	2.10
Ecuación 2.3	Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas al horno de materias primas carbonatadas	2.12
Ecuación 2.4	Factor de emisión para el clínker	2.13
Ecuación 2.5	Factor corrector para el CKD no reciclado hacia el horno	2.14
Ecuación 2.6	Nivel 2: Emisiones basadas en los datos de producción nacional de cal, por tipos	2.24
Ecuación 2.7	Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas de carbonatos	2.24
Ecuación 2.8	Nivel 1: factor de emisión por defecto para la producción de cal	2.25
Ecuación 2.9	Nivel 2: Factores de emisión para la producción de cal	2.26
Ecuación 2.10	Nivel 1: Emisiones basadas en la producción de vidrio	2.32
Ecuación 2.11	Nivel 2: Emisiones basadas en el proceso de fabricación del vidrio	2.32
Ecuación 2.12	Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas de carbonatos	2.32
Ecuación 2.13	Nivel 1: factor de emisión por defecto para la producción de vidrio	2.34
Ecuación 2.14	Nivel 1: Emisiones basadas en la masa de los carbonatos consumidos	2.38
Ecuación 2.15	Nivel 2: Método para otros usos de los carbonatos en los procesos	2.39
Ecuación 2.16	Nivel 3: Método de las entradas de carbonato para otros usos de los carbonatos en los procesos	2.39

Figuras

Figura 2.1	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de cemento	2.10
Figura 2.2	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de cal.....	2.23
Figura 2.3	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de vidrio	2.33
Figura 2.4	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de otros usos de los carbonatos en los procesos	2.40

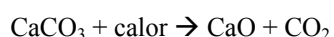
Cuadros

Cuadro 2.1	Fórmulas, pesos moleculares de fórmula, y contenido de dióxido de carbono de las especies comunes de carbonatos	2.7
Cuadro 2.2	Fracción de clínker en las «recetas» de cementos compuestos y en las mezclas generales	2.16
Cuadro 2.3	Valores de incertidumbre por defecto para la producción de cemento	2.19
Cuadro 2.4	Parámetros básicos para el cálculo de los factores de emisión en la producción de cal	2.26
Cuadro 2.5	Valores de incertidumbre por defecto para la estimación de emisiones de CO ₂ de la producción de cal	2.29
Cuadro 2.6	Factores de emisión y proporciones de cullet por defecto para los diferentes tipos de vidrio ..	2.34
Cuadro 2.7	Usos de los carbonatos que generan y que no generan emisiones	2.42

2 EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se delinearán las metodologías para estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el uso de una variedad de productos minerales industriales. Existen dos grandes vías para la liberación de CO₂ a partir de los carbonatos: la calcinación y la liberación de CO₂ inducida por ácidos. El principal proceso que conduce a la liberación de CO₂ es la calcinación de compuestos carbonatados, durante la cual se forma óxido metálico mediante la aplicación de calor. Una reacción de calcinación típica, ejemplificada aquí para el mineral de calcita o carbonato de calcio, sería la siguiente:



La liberación de CO₂ inducida por ácido, por ejemplo, a través de una ecuación de la forma:



Esto ocurre en diversas industrias, pero es generalmente el resultado de la presencia de pequeñas cantidades de carbonatos, en calidad de impurezas, en un proceso de acidificación para concentrar un material no carbonatado. Por ejemplo, en el tratamiento de los minerales de fosfato con ácido sulfúrico para producir ácido fosfórico, el concentrado de fosfato que ha de ser acidificado puede contener un pequeño porcentaje de minerales carbonatados. En general, la cantidad de CO₂ liberada por acidificación de estas impurezas carbonatadas es pequeña.

En consecuencia, en este capítulo la atención se centra en las emisiones que resultan de la calcinación de materiales carbonatados. Aunque el proceso principal a través del cual se liberan emisiones por calcinación es similar entre las diversas categorías de fuente de la industria de los minerales, el énfasis se pone en tres de ellas pues sus contribuciones a las emisiones mundiales son relativamente importantes. Estas categorías de fuente son: la producción de cemento, de cal y de vidrio. Además de estas categorías, en este capítulo se consideran las emisiones provenientes del consumo de carbonatos en una variedad de otras industrias de los minerales, incluidas las cerámicas, los usos de la ceniza de sosa y el consumo de carbonatos en la producción de magnesia no metalúrgica.

La piedra caliza y otros materiales carbonatados se consumen también en muchas otras industrias que no se abordan en este capítulo. Son ejemplos los carbonatos que se utilizan como fundentes¹ o como agentes de escorificación² en la fundición y refinación (p. ej., la producción de hierro y acero y la de metales básicos como el cobre), y como entradas en la industria química (p. ej., los fertilizantes). Los métodos delineados en este capítulo para estimar las emisiones provenientes del uso de carbonatos son aplicables también a estas otras industrias. Es una *buena práctica* atribuir las emisiones provenientes del uso de la piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos, a la categoría de fuente industrial en las cuales son emitidas (p. ej., la producción de hierro y acero).

Tal como se señala a lo largo de todo el Volumen 3, sobre Procesos industriales y uso de productos (IPPU, del inglés, *Industrial Processes and Products Use*), en las metodologías para la estimación de las emisiones que se explican a continuación, se consideran sólo las emisiones relacionadas con procesos y no las emisiones relacionadas con la energía. Los compiladores del inventario deben garantizar que las emisiones de estas industrias que estén relacionadas con la energía, se contabilicen en el Sector Energía y que no haya cómputos dobles de emisiones entre los Sectores Energía e IPPU. Por ejemplo, en el cálculo de las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de combustible para la fabricación del cemento debe considerarse la combustión, tanto de los combustibles fósiles como de los combustibles de desecho (neumáticos, óleos de desecho, pinturas, etc.).

¹ Los fundentes (o flujos) son materias primas tales como la piedra caliza, la dolomita, la cal y la arena de sílice, que se usan para reducir el calor u otros requerimientos energéticos necesarios del procesamiento térmico de los minerales (tal como la fundición de metales). Los fundentes pueden cumplir una doble función, pues actúan a la vez como agentes de escorificación.

² La escoria (o clinker) es un silicato fundido residual formado intencionalmente durante la fundición de minerales metálicos o en hornos posteriores (p. ej., el acero) mediante la incorporación de agentes de escorificación (generalmente cal, piedra caliza y/o dolomita). Esta escoria contiene la mayoría de las impurezas no volátiles extraídas de los minerales, así como los componentes derivados de cualquiera de los fundentes agregados al proceso de fundición.

Sin embargo, estas emisiones relacionadas con la combustión deben incluirse en las emisiones relacionadas con la energía y no con el IPPU, el cual deberá incluir sólo las emisiones procedentes de la calcinación.

Aunque el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) pueden ser emitidos por algunas categorías de fuente de la industria de los minerales, dados los conocimientos científicos actuales, se supone que estas emisiones son insignificantes y por lo tanto no se abordan en este capítulo. Las emisiones de CO₂ pueden resultar de actividades adicionales relacionadas con los minerales que no están identificadas aquí. Pero deben incluirse en el inventario allí donde se conozcan y puedan estimarse.

Las categorías de fuente de este capítulo son tratadas con un enfoque común respecto de los niveles metodológicos. Los Niveles 1 y 2 se basan en estimaciones de la cantidad de materias primas consumidas o de productos fabricados, junto con factores de emisión que representan la cantidad de CO₂ emitido por unidad de masa. El Nivel 3 describe los cálculos directos basados en los procesos químicos específicos aplicados a las materias primas en cada planta. Si se usan datos de materias primas específicos por sitio, es vital que se justifiquen todas las fuentes de carbonatos en las materias primas y en los combustibles (no sólo las de la piedra caliza). Los cálculos básicos de las emisiones son similares para todas las industrias que queman carbonatos. Se basan en pesos moleculares de fórmula y en factores de CO₂ comunes, los cuales, para mayor facilidad, se presentan en el siguiente Cuadro 2.1.

CUADRO 2.1 FÓRMULAS, PESOS MOLECULARES DE FÓRMULA, Y CONTENIDO DE DIÓXIDO DE CARBONO DE LAS ESPECIES COMUNES DE CARBONATOS*			
Carbonato	Nombre del (o los) minerales	Peso molecular de fórmula	Factor de emisión (toneladas de CO₂/toneladas de carbonato)**
CaCO ₃	Calcita*** o aragonita	100,0869	0,43971
MgCO ₃	Magnesita	84,3139	0,52197
CaMg(CO ₃) ₂	Dolomita***	184,4008	0,47732
FeCO ₃	Siderita	115,8539	0,37987
Ca(Fe,Mg,Mn)(CO ₃) ₂	Ankerita (o espató)****	185,0225–215,616 0	0,40822–0,47572
MnCO ₃	Rhodochrosita	114,9470	0,38286
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sodio o ceniza de sosa	106,0685	0,41492

Fuente: *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (2004).

* Los resultados finales (es decir, la estimación de las emisiones) obtenidos con estos datos deben redondearse a no más de dos cifras significativas

** Fracción de CO₂ emitida, suponiendo una calcinación al 100 por ciento; p. ej., 1 tonelada de calcita totalmente calcinada rendiría 0,43971 toneladas de CO₂.

*** La calcita es el mineral principal de la piedra caliza. Los términos tales como piedra caliza con fuerte proporción de magnesio o piedra caliza dolomítica se refieren a una sustitución relativamente pequeña del Mg por el Ca en la fórmula general CaCO₃, comúnmente presentada para la piedra caliza.

**** Para el intervalo de los pesos moleculares de fórmula presentados para la ankerita (espatos), se supone que el Fe, Mg y Mn están presentes en proporciones de al menos un 1,0 por ciento

2.2 PRODUCCIÓN DE CEMENTO

2.2.1 Cuestiones metodológicas

En la fabricación del cemento, el CO₂ se genera durante la producción de clínker, un producto intermedio constituido de nódulos, que luego se somete a una molturación fina conjuntamente con una pequeña proporción de sulfato de calcio [yeso (CaSO₄·2H₂O) o anhidruro (CaSO₄)], para formar el cemento hidráulico (generalmente, el cemento portland). Durante la producción del clínker, se calienta o calcina la piedra caliza, compuesta esencialmente de carbonato de calcio (CaCO₃), para producir cal (CaO) y CO₂ como productos derivados. El CaO reacciona entonces con la sílice (SiO₂), la alúmina (Al₂O₃), y el óxido de hierro (Fe₂O₃) presentes en las materias primas, para formar minerales de clínker (principalmente silicatos de calcio). La proporción de otros carbonatos diferentes del CaCO₃ en las materias primas es en general muy pequeña. Los demás carbonatos, si aparecen, existen esencialmente como impurezas en la materia prima de la piedra caliza primaria. Es deseable que haya una pequeña cantidad de MgO (generalmente, entre 1 por ciento y 2 por ciento) en el proceso de fabricación del clínker, pues actúa como fundente. Pero una cantidad mayor puede generar problemas con el cemento (van Oss y Padovani, 2002). El cemento puede fabricarse completamente (por molturación) a partir de clínker importado, en cuyo caso la planta de producción de cemento puede ser considerada libre de toda emisión de CO₂ relacionada con el proceso de

fabricación. Como se explica en la Sección 2.2.1.2, durante la fabricación de clínker puede generarse polvo de horno de cemento (CKD, del inglés *Cement Kiln Dust*). En la estimación de las emisiones deben tomarse en cuenta las emisiones asociadas al CKD.

No hay emisiones adicionales asociadas con la producción de cemento de albañilería. En el caso de que se produzca cemento de albañilería por adición de cal al cemento portland (o a su clínker), las emisiones asociadas a la cal deben haberse tomado ya en cuenta bajo el rubro producción de cal. No se producen emisiones adicionales cuando, para producir cemento de albañilería, se agregue piedra caliza molida al cemento portland o a su clínker.

2.2.1.1 Elección del método

En el árbol de decisión de la Figura 2.1 se describe la *buena práctica* de escoger el método más apropiado según las circunstancias nacionales. En el método de Nivel 1, las emisiones se basan en las estimaciones de producción de clínker inferidas de los datos sobre la producción de cemento, y se corrigen en función de las exportaciones e importaciones de clínker. La estimación directa de las emisiones a partir de la producción de cemento (esto es, aplicando directamente un factor de emisión a la producción de cemento, sin estimar primero la producción de clínker) no se considera una *buena práctica* pues no da cuenta de las importaciones y exportaciones de clínker.

En el Nivel 2, las emisiones se estiman directamente de los datos sobre la producción de clínker (en vez de estimarse de la producción de clínker inferida de la producción de cemento) y de un factor de emisión, ya sea nacional o por defecto. El método de Nivel 3 consiste en un cálculo basado en los pesos y en la composición de todas las entradas de carbonatos que se aplica a todas las fuentes de materias primas y de combustibles, al (o a los) factores de emisión para el (o los) carbonatos y a la fracción de calcinación alcanzada. En el método de Nivel 3 se cuenta con los datos específicos de la planta. Si el compilador del inventario considera que los datos del nivel de la planta son poco fiables o muy inciertos, entonces la *buena práctica* es usar el Nivel 2.

En el Nivel 2 y en el Nivel 3 se debe incluir una corrección para el CKD. En el Nivel 2 se incluye una corrección aditiva para las emisiones asociadas con el CKD que no es reciclado hacia el horno. En el Nivel 3 también debe justificarse el CKD. Pero a diferencia del método de Nivel 2, al usar el Nivel 3, las emisiones atribuidas al CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno deben restarse de la estimación del total de emisiones.

En el caso de que en la planta se haya instalado una tecnología de captura del CO₂, es una *buena práctica* restar el CO₂ capturado de los cálculos de emisiones efectuados mediante los niveles más elevados. Se supone por defecto que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO₂. Para toda metodología que tome en cuenta la captura de CO₂, debe considerarse que las emisiones de CO₂ capturadas en el proceso pueden estar relacionadas tanto con la combustión como con el proceso mismo. En los casos en los que las emisiones debidas a la combustión o al proceso deban declararse separadamente, p. ej., para el caso de la producción de cemento, los compiladores del inventario deben garantizar que las mismas cantidades de CO₂ no sean contabilizadas por partida doble. En estos casos, la cantidad total de CO₂ capturado debe declararse preferentemente en las correspondientes categorías de fuente de Energía e IPPU, en proporción con las cantidades de CO₂ generado en cada categoría de fuente. Para más información sobre la captura y almacenamiento de CO₂, refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles sobre captura y almacenamiento, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

MÉTODO DE NIVEL 1: ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CLÍNKER A TRAVÉS DE LOS DATOS DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO

Tal como se ha señalado más arriba, el cálculo de las emisiones de CO₂ realizado directamente a partir de la producción de cemento (p. ej., mediante el uso de un factor de emisión fijo basado en el cemento) no es coherente con las *buenas prácticas*. En contrapartida, ante la ausencia de datos sobre las entradas de carbonatos o sobre la producción nacional de clínker, pueden usarse los datos de producción de cemento para estimar la producción de clínker mediante la contabilización de las cantidades y tipos de cemento producidos con sus respectivos contenidos de clínker. Estos mismos datos pueden usarse para aplicar una corrección que dé cuenta de las importaciones y exportaciones de clínker. La contabilización de las importaciones y exportaciones de clínker constituye un factor importante en la estimación de las emisiones provenientes de esta fuente. Las emisiones resultantes de la producción de clínker importado no deben incluirse en las estimaciones de emisiones nacionales pues estas emisiones ya han ocurrido y se han contabilizado en otro país. De manera similar, las emisiones resultantes del clínker que es finalmente exportado, deben analizarse y atribuirse como estimaciones nacionales del país donde se produce el clínker. Se aplica entonces un factor de emisión para el clínker y se calculan las emisiones de CO₂ según la Ecuación 2.1.

ECUACIÓN 2.1

NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO

$$EmisionesCO_2 = \left[\sum_i (M_{ci} \cdot C_{cli}) - Im + Ex \right] \cdot EF_{clc}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cemento, toneladas

M_{ci} = peso (masa) de cemento producido³ de tipo i , toneladas

C_{cli} = fracción de clínker del cemento de tipo i , fracción

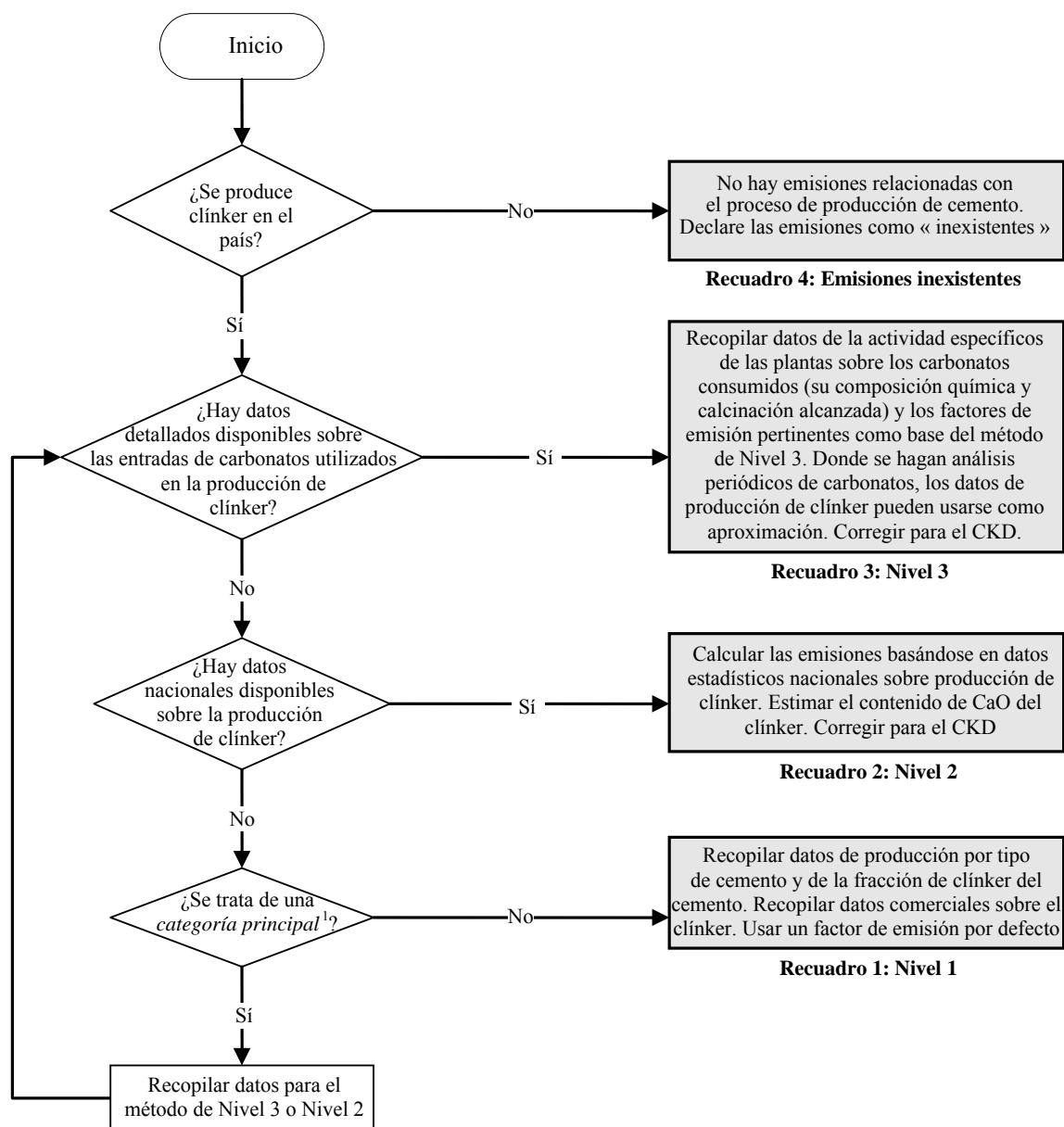
Im = importaciones para el consumo de clínker, toneladas

Ex = exportaciones de clínker, toneladas

EF_{clc} = factor de emisión del clínker en el cemento en particular, toneladas de CO_2 /toneladas de clínker
 El factor de emisión por defecto del clínker (EF_{clc}) está corregido para el CKD.

³ En algunos compendios estadísticos, se entiende que la producción de cemento significa la producción media más las exportaciones de clínker. Si este fuera el caso, es una *buena práctica* sustraer las exportaciones de clínker del factor M_{ci} en la Ecuación 2.1.

Figura 2.1 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de cemento**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

MÉTODO DE NIVEL 2: UTILIZACIÓN DE LOS DATOS SOBRE PRODUCCIÓN DE CLÍNKER

Si no se dispone de datos detallados y completos (incluidos los pesos y la composición) sobre el (o los) carbonatos consumidos en la producción de clínker (Nivel 3), o bien, si por otro lado, resulta impracticable un cálculo riguroso de Nivel 3, es una *buena práctica* utilizar datos globales sobre la producción de clínker de nivel de planta o de nivel nacional y datos sobre el contenido de CaO del clínker, expresados como un factor de emisión en la Ecuación 2.2, presentada a continuación.

ECUACIÓN 2.2

NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN LOS DATOS SOBRE PRODUCCIÓN DE CLÍNKER

$$Emisiones\ de\ CO_2 = M_{cl} \cdot EF_{cl} \cdot CF_{ckd}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cemento, toneladas

M_{cl} = peso (masa) de la cal producida, toneladas

EF_{cl} = factor de emisión para el clínker, toneladas de CO₂/toneladas de clínker (véase a continuación el análisis de la Sección 2.2.1.2, Elección del factor de emisión, para los Niveles 1 y 2). Este factor de emisión del clínker (EF_{cl}) no está corregido para el CKD.

CF_{ckd} = factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión (véase Ecuación 2.5)

El método de Nivel 2 se basa en las siguientes hipótesis en relación con la industria del cemento y con la producción de clínker:

1. La mayor parte del cemento hidráulico es cemento portland o un cemento similar que requiere clínker de cemento portland;
2. En la composición del clínker, la proporción de CaO varía dentro de un intervalo muy limitado y el contenido de MgO se mantiene muy bajo;
3. En general, las plantas son capaces de controlar el contenido de CaO en las entradas de materias primas y de clínker dentro de un intervalo estrecho de tolerancia;
4. Aun cuando la salida de clínker se calcula en vez de medirla directamente en la planta, a la hora de los controles de auditoría ambos métodos de determinación arrojan resultados concordantes;
5. Para una planta en particular, el contenido de CaO del clínker tiende a no variar significativamente a través de los años;
6. Para la mayoría de las plantas, la fuente principal de CaO es el CaCO₃ y toda otra fuente de CaO cuyo origen no sean los carbonatos, está debidamente cuantificada, por lo menos al nivel de la planta (véase más abajo, Sección 2.2.1.2);
7. Para las entradas de carbonatos usados en la fabricación de clínker se alcanza un factor de calcinación del 100 por ciento (o muy cercano), incluidos (normalmente en menor escala) los materiales perdidos para el sistema como CKD no reciclado; y
8. Los colectores de polvo de las plantas capturan casi la totalidad del CKD, aunque éste no necesariamente se recicle hacia el horno.

MÉTODO DE NIVEL 3: UTILIZACIÓN DE LOS DATOS SOBRE ENTRADAS DE CARBONATOS

El Nivel 3 se basa en la recolección de datos desagregados respecto de los tipos (composiciones) y las cantidades de carbonato(s) consumidos para producir clínker, así como en su (o sus) factores de emisión respectivos. Las emisiones se calculan luego mediante la Ecuación 2.3. El método de Nivel 3 incluye un ajuste para restar todo carbonato no calcinado contenido de el CKD que no se recicle hacia el horno. Si el CKD se calcina totalmente, o bien si se recicla hacia el horno, este factor corrector para el CKD será nulo. El Nivel 3 se considera aún una *buena práctica* en aquellos casos en que los compiladores del inventario no tengan acceso a los datos sobre el CKD no calcinado. Sin embargo, si se excluye el CKD no calcinado puede producirse una ligera sobreestimación de las emisiones.

La piedra caliza y los esquistos (materias primas) pueden contener también una cierta proporción de carbono orgánico (kerógeno) y otras materias primas (p. ej., las cenizas volantes) pueden contener residuos de carbono, lo cual rendirá CO₂ suplementario durante la quema. Generalmente, estas emisiones no se contabilizan en el Sector Energía, pero si ocurren ampliamente, los compiladores del inventario deben hacer un esfuerzo para determinar si están o no incluidas en el Sector Energía. Sin embargo, en la actualidad existen muy pocos datos sobre los contenidos de kerógeno o de carbono en las materias primas no combustibles destinadas a los procesos minerales como para determinar, entre los valores que se presentan en este capítulo, un valor por defecto que sea significativo respecto del contenido promedio de kerógeno en las materias primas. Para los cálculos basados en las materias primas al nivel de plantas (Nivel 3), en los cuales el contenido de kerógeno es elevado (es decir, que contribuye en más de un 5 por ciento al calor total), es una *buena práctica* incluir el aporte del kerógeno a las emisiones.

El método de Nivel 3 es sin duda adecuado sólo en los casos de plantas individuales o de países que tengan acceso a datos detallados sobre las materias primas carbonatadas para cada planta. Los datos de emisiones

recolectados directamente de las plantas deberán ser luego sintetizados con el fin de generar informes sobre las estimaciones de emisiones a la escala nacional. Se reconoce que, para algunas plantas, los cálculos frecuentes de emisiones basados en un análisis directo de los carbonatos pueden resultar fastidiosos. En la medida de que los análisis químicos detallados de las entradas de carbonatos se realicen con una frecuencia suficiente como para establecer una buena correlación entre los carbonatos consumidos al nivel de la planta y la producción de clínker resultante, la salida de clínker podrá considerarse entonces representativa de los carbonatos en los cálculos de emisiones para los períodos intermedios. Es decir, una planta puede derivar un factor de emisión condicionado rigurosamente para el clínker de esa planta, basándose en una calibración periódica de las entradas de carbonato.

ECUACIÓN 2.3

NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LAS ENTRADAS AL HORNO DE MATERIAS PRIMAS CARBONATADAS

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \underbrace{\sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i)}_{\text{Emisiones de los carbonatos}} - \underbrace{M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d}_{\text{Emisiones de CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno}} + \underbrace{\sum_k (M_k \cdot X_k \cdot EF_k)}_{\text{Emisiones de materiales no combustibles que contienen carbono}}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cemento, toneladas

EF_i = factor de emisión para el carbonato en particular *i*, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

M_i = peso o masa del carbonato *i* consumido en el horno, toneladas

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato *i*, fracción ^a

M_d = peso o masa del CKD no reciclado hacia el horno (= CKD «perdido»), toneladas

C_d = fracción del peso del carbonato original en el CKD no reciclado hacia el horno, fracción ^b

F_d = fracción de calcinación alcanzada para el CKD no reciclado hacia el horno, fracción ^a

EF_d = factor de emisión para el carbonato no calcinado contenido de el CKD que no es reciclado hacia el horno, toneladas de CO₂/toneladas de carbonato ^b

M_k = peso o masa de la materia prima orgánica *k*, u otra materia prima no combustible que contiene carbono, toneladas ^c

X_k = fracción del total de materia orgánica u otro carbono en la materia no combustible específica *k*, fracción ^c

EF_k = factor de emisión para la materia prima no combustible *k*, que contiene kerógeno (u otro carbono), toneladas de CO₂/toneladas de carbonato ^c

Notas sobre los valores por defecto para la Ecuación 2.3:

- a: Fracción de calcinación: En ausencia de datos reales, puede suponerse que a las temperaturas y los tiempos de permanencia en el horno alcanzados en los hornos de altas temperaturas para el cemento (clínker), el grado de calcinación alcanzado para todos los materiales incorporados al clínker, es de 100 por ciento (es decir, F_i = 1,00) o muy cercano a este valor. Para el CKD, es más probable un valor de F_d < 1,00, pero los datos pueden presentar una gran variabilidad y una fiabilidad relativamente baja. En ausencia de datos fiables para el CKD, la hipótesis de un valor de F_d = 1,00 significará una corrección para el CKD igual a cero.
- b: Debido a que el carbonato de calcio es el carbonato dominante por lejos entre las materias primas, puede suponerse que totaliza el 100 por ciento del carbonato restante en el CKD que no se recicla hacia el horno. Es, por lo tanto, aceptable como *buena práctica*, que se asigne a C_d un valor igual a la proporción de carbonato de calcio existente en la materia prima que se introduce en el horno. Es igualmente aceptable que para EF_d se utilice el factor de emisión del carbonato de calcio.
- c: Las emisiones de CO₂ provenientes del carbono no relacionado con los carbonatos (p. ej., el carbono del kerógeno, el carbono de las cenizas volantes) presente en las materias primas no combustibles,

pueden omitirse (defínase $M_k \cdot X_k \cdot EF_k = 0$) si la contribución de calor del kerógeno u otro carbono es < 5 por ciento del calor total (de los combustibles).

2.2.1.2 Elección de los factores de emisión

MÉTODO DE NIVEL 1

En el Nivel 1, es una *buena práctica* utilizar el valor por defecto de 65 por ciento para el contenido de CaO del clínker, de suponer que el 100 por ciento del CaO proviene del material carbonato de calcio y de incorporar un factor corrector del 2 por ciento para el CKD (para más información sobre el CKD, refiérase al método de Nivel 2 discutido más abajo)

Para la composición por defecto del CaO, 1 tonelada de clínker contiene 0,65 toneladas de CaO provenientes del CaCO_3 . Este carbonato contiene 56,03 por ciento de CaO y 43,97 por ciento de CO_2 por peso (Cuadro 2.1) La cantidad (X) de CaCO_3 necesaria para rendir 0,65 toneladas de CaO es: $X = 0,65/0,5603 = 1,1601$ toneladas de CaCO_3 (sin redondear). La cantidad de CO_2 liberada por calcinación de este $\text{CaCO}_3 = 1,1601 \cdot 0,4397 = 0,5101$ toneladas de CO_2 (sin redondear). Si se supone una corrección aditiva del 2 por ciento para dar cuenta del CKD, el factor de emisión por defecto (EF_{clc}) para el clínker es, una vez redondeado:

<p>ECUACIÓN 2.4 FACTOR DE EMISIÓN PARA EL CLÍNKER</p> $EF_{clc} = 0,51 \cdot 1,02 \text{ (corrección CKD)} = 0,52 \text{ toneladas de } \text{CO}_2 / \text{toneladas de clínker}$

Según el Nivel 1, en el valor por defecto EF_{clc} se incorpora la corrección para el CKD. No debe confundirse con el factor de emisión EF_{cl} del Nivel 2, que no da cuenta del CKD. El factor EF_{cl} debe multiplicarse por un factor corrector, CF_{ckd} (véase la Ecuación 2.5) para generar el factor combinado EF para el clínker y el CKD.

MÉTODO DE NIVEL 2

Factor de emisión para el clínker (EF_{cl})

En el método de Nivel 2, si se dispone de suficientes datos específicos del país sobre el contenido de CaO del clínker y sobre las entradas de fuentes no carbonatadas de CaO, es una *buena práctica* estimar un factor de emisión de CO_2 del clínker específico para ese país. Tal como se señala más arriba, para derivar un factor de emisión para el clínker se requiere conocer el contenido de CaO del clínker, así como la fracción de CaO que se haya derivado de una fuente de carbonato (generalmente el CaCO_3). El contenido de CaO del clínker suele situarse en un intervalo que va del 60 por ciento al 70 por ciento. En una planta determinada, el contenido de CaO permanecerá estable dentro de un 1 por ciento a un 2 por ciento. Para determinar el valor básico por defecto del factor de emisión, tal como se recomienda según el Nivel 1, se supone que el clínker contiene un 65 por ciento de CaO, que éste proviene en un 100 por ciento del CaCO_3 y que se alcanza un 100 por ciento de calcinación en el horno.

Para el factor de emisión de base de 0,51 (es decir, sin corrección para el CKD) en la Ecuación 2.4, se supone un contenido de un 65 por ciento de CaO en el clínker. Un cálculo similar daría los factores de emisión para los diferentes contenidos en CaO, si éstos fueren conocidos. Por ejemplo, para un clínker con un 60 por ciento de CaO enteramente derivado de CaCO_3 , el factor EF_{cl} (sin incluir la corrección para el CKD) es 0,47, y para un 67 por ciento de CaO, el EF_{cl} es 0,53.

Si se sabe que una planta obtiene una fracción significativa de CaO de una fuente no carbonatada (tal como la escoria de acero o las cenizas volantes), entonces debe restarse primero este componente de CaO. Por ejemplo, si un 4 por ciento del CaO de un clínker compuesto de un 65 por ciento de CaO proviene de escorias, entonces el CaO proveniente de carbonatos es de un 61 por ciento y en este caso, el cálculo da un factor EF_{cl} de 0,48.

El factor de emisión por defecto no incluye una corrección para el MgO. Por cada 1 por ciento de MgO derivado de carbonatos, al factor de emisión se agrega un factor de 0,011 toneladas de CO_2 /toneladas de clínker adicional (es decir, $EF_{cl} = 0,510 + 0,011 = 0,52$ toneladas de CO_2 /toneladas de clínker). Debido a que el MgO puede también provenir de una fuente no carbonatada y debido a que el MgO se mantiene deliberadamente bajo en el cemento portland, es probable que la verdadera cantidad de MgO proveniente de carbonatos sea muy pequeña. Dado que la hipótesis de un 100 por ciento de fuente carbonatada para el CaO resulta ya en una sobreestimación de las emisiones (es muy probable que haya por lo menos algún aporte de CaO de fuentes no carbonatadas) y dado también el hecho de que algo del MgO puede provenir de una fuente no carbonatada, no es necesaria una corrección para el MgO para el cálculo de Nivel 2. Para mayor información sobre las incertidumbres asociadas a estas hipótesis, por favor refiérase al Cuadro 2.3.

Factor corrector de emisiones para el polvo de horno de cemento (CF_{ckd})

El polvo puede generarse en varios puntos de la línea del horno de altas temperaturas utilizado para fabricar el clínker. La composición de este polvo puede variar según el lugar de generación, pero todo polvo puede incluirse bajo la denominación «polvo de horno de cemento» (CKD, del inglés, *Cement Kiln Dust*). El CKD incluye partículas derivadas de las materias primas y el componente carbonatado original del polvo puede ser calcinado de manera incompleta. Se puede capturar eficientemente el CKD por medio de tecnologías de control de polvos y reciclarlo luego hacia el horno (es la práctica preferida), o bien retornarlo directamente al horno en el aire de combustión o eliminarlo (luego de la captura). La proporción en la cual se puede reciclar el CKD hacia el horno depende de que esto genere o no problemas de calidad con el clínker (p. ej., un contenido alcalino excesivo) o con el cemento producido ulteriormente. Todo CKD no reciclado hacia el horno se considera «perdido» para el proceso y las emisiones asociadas con él no serán tomadas en cuenta para el clínker. En la medida en la que el CKD perdido representa materias primas carbonatadas calcinadas, en los cálculos de Nivel 1 y de Nivel 2, las emisiones de esta materias primas calcinadas representan una cantidad que se suma a las emisiones del clínker, y en el cálculo del Nivel 3, una cantidad que se resta.

Dado que los datos sobre la cantidad de CKD producido pueden ser escasos (salvo quizás en los casos de informes al nivel de plantas), puede considerarse una *buena práctica* estimar las emisiones del CKD perdido sobre la base de un valor por defecto. La cantidad de CO₂ proveniente de CKD perdido puede variar, pero dentro de un intervalo típico cercano al 1,5 por ciento (CO₂ adicional respecto del calculado para el clínker) para una planta moderna y hasta cerca de un 20 por ciento para una planta que pierde gran cantidad de CKD muy calcinado (van Oss, 2005). En caso de ausencia de datos, el factor corrector por defecto para el CKD (CF_{ckd}) es de 1,02 (es decir, se añade un 2 por ciento al CO₂ calculado para el clínker). Si se estima que no hay pérdidas de CKD calcinado en el sistema, el factor corrector para el CKD será de 1,00 (van Oss, 2005). Además del CKD, el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, del inglés, *World Business Council for Sustainable Development*) aborda por separado las emisiones provenientes del polvo desviado (que se calcina totalmente). Si hay datos disponibles, los países pueden referirse al Protocolo del WBCSD para estimar estas emisiones (WBCSD, 2005).

Si hay datos disponibles puede calcularse, mediante la Ecuación 2.5, el factor corrector (CF_{ckd} de la Ecuación 2.2) para las emisiones del CO₂ «perdido».

El factor corrector para el CKD (CF_{ckd}), puede derivarse para su uso en la Ecuación 2.2, de la manera siguiente:

<p>ECUACIÓN 2.5</p> <p>FACTOR CORRECTOR PARA EL CKD NO RECICLADO HACIA EL HORNO</p> $CF_{ckd} = 1 + (M_d / M_{cl}) \cdot C_d \cdot F_d \cdot (EF_c / EF_{cl})$
--

Donde:

CF_{ckd} = factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión

M_d = peso del CKD no reciclado hacia el horno, toneladas^a

M_{cl} = peso del clínker producido, toneladas

C_d = fracción de carbonato original en el CKD (es decir, antes de la calcinación), fracción^b

F_d = fracción de la calcinación del carbonato original en el CKD, fracción^b

EF_c = factor de emisión para el carbonato (Cuadro 2.1), toneladas de CO₂/toneladas de carbonato

EF_{cl} = factor de emisión del clínker sin corrección para el CKD (es decir, 0,51 toneladas de CO₂/toneladas de clínker), toneladas de CO₂/toneladas de clínker

Notas:

- a: Se supone que el 100 por ciento del CKD es capturado primero. Si algo de CKD es venteado en la atmósfera, debe hacerse una estimación de esta cantidad e incluirse en el M_d .
- b: Es aceptable suponer que el carbonato inicial esté compuesto en su totalidad de CaCO₃ y que la proporción de carbonato original en el CKD sea esencialmente la misma que la del suministro de mezcla sin tratar hacia el horno.

Por ejemplo, para $M_d/M_{cl} = 0,2$, $C_d = 0,85$, $F_d = 0,5$, carbonato original puro CaCO₃ (de donde, $EF_c = 0,4397$ toneladas de CO₂/toneladas de carbonato), y EF_{cl} = valor por defecto de 0,51 toneladas de CO₂/toneladas de clínker, resulta un $CF_{ckd} = 1,073$ (sin redondear) – lo que significa agregar cerca de un 7 por ciento al CO₂ calculado para el clínker solo.

MÉTODO DE NIVEL 3

Los factores de emisión del Nivel 3 se basan en el contenido efectivo en CO₂ de los carbonatos presentes (véase Ecuación 2.3 y Cuadro 2.1). El método del Nivel 3 requiere una contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes).

2.2.1.3 Elección de los datos de la actividad

MÉTODO DE NIVEL 1

En el Nivel 1, para estimar la producción de clínker deben recolectarse datos a la escala nacional (o donde sea posible, al nivel de plantas) sobre los tipos de cemento producidos y la fracción de clínker de cada cemento. La mayoría de los cementos hidráulicos que se producen en el mundo son cementos portland o cementos mezclados (compuestos) basados en el cemento portland (p. ej., cemento portland [o clínker] más aditivos puzolánicos o cementosos), o también cementos de albañilería (cemento portland más aditivos que aumentan la plasticidad, tales como la piedra caliza molida). Si la producción de cemento no puede analizarse separadamente por tipo y si se sospecha que se producen, además del cemento portland, cantidades significativas de cementos compuestos y/o de albañilería, es aceptable suponer, dentro de las *buenas prácticas*, que la fracción global de clínker es de un 75 por ciento. Si se sabe que la producción de cemento corresponde esencialmente a la del cemento portland, entonces una *buen práctica* es utilizar un valor por defecto de 95 por ciento de clínker. Por desgracia, aun cuando se conozcan los tipos de cemento producidos en el país, puede haber una gran variabilidad respecto de la fracción de clínker incorporado en los tipos de cementos compuestos o de albañilería. En el Cuadro 2.2 se presenta una ilustración del intervalo de variación de las fracciones de clínker para varios tipos de cemento. Para mayor información, véase DIN (1994) y ASTM (2004a, 2004b). Cada país debe documentar claramente todas las hipótesis planteadas sobre la composición del cemento y la fracción de clínker utilizada para estimar las emisiones.

El Nivel 1 requiere también una corrección para las importaciones y las exportaciones de clínker. Por lo general, los datos sobre la cantidad de clínker importado y exportado en el país están disponibles en las oficinas nacionales de aduanas, en las Naciones Unidas, en las asociaciones nacionales del cemento o en las asociaciones comerciales y/o en los departamentos de comercio. Los códigos arancelarios típicos vigentes en el comercio del clínker son el 661.21 (SITC) y el 2523.10.00 (HTS). Es importante distinguir los datos comerciales sobre el clínker en sí mismo de los datos sobre la categoría combinada de cemento hidráulico y de clínker [códigos 661.2 (SITC) y 25.23.0000 (HTS)], y de los datos sobre importaciones de cemento: [códigos 661.22 – 661.29 (SITC) y 2523.21 – 2523.90 (HTS)].

CUADRO 2.2				
FRACCIÓN DE CLÍNKER EN LAS «RECETAS» DE CEMENTOS COMPUESTOS Y EN LAS MEZCLAS GENERALES				
(BASADO EN LAS NORMAS ESTADOUNIDENSES <i>ASTM C-150</i> Y <i>C-595</i>;				
LOS DATOS DE LOS ESTADOS UNIDOS PUEDEN SER ILUSTRATIVOS PARA OTROS PAÍSES)				
Nombre del cemento	Símbolo	Receta	% Clínker	Notas
Portland	«PC»	100% PC	95 - 97 90 - 92	Algunos estados de Estados Unidos autorizan la inclusión de 3% de GGBFS (del inglés, <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag Cement</i> : cemento de escoria de alto horno granulada y molida). Las normas más recientes autorizan una inclusión ≤ 5% de piedra caliza triturada.
Albañilería	«MC»	2/3 PC	64	Varía considerablemente
Portland modificado con escoria	I(SM)	escoria < 25%	>70 - 93	
Portland BF Slag	IS	escoria 25-70%	28 - 70	
Portland puzolano	IP y P	puzolano 15-40%	28 - 79/81	la base es el PC y/o el IS
Portland modificado con puzolano	I(SM)	puzolano <15%	28 - 93/95	la base es el PC y/o el IS
Cemento de escoria	S	escoria 70+%	<28/29	puede utilizar CaO en vez de clínker

PORCENTAJE DE CLÍNKER EN EL PRODUCTO						
Porcentaje de aditivos (puzolano+escoria) en el cemento mezclado*						
Proporción de productos (PC/mezcla)**	0%	10%	20%	30%	40%	75%
100/0	95 - 97	0	0	0	0	0
0/100	0	85,5	76	66,5	57	23,8
15/85	14,2	86,9	78,9	70,8	62,7	26,4
25/75	23,8	87,9	80,8	73,6	66,5	41,6
30/70	28,5	88,35	81,7	75,1	68,4	45,2
40/60	38	89,3	83,6	77,9	72,2	52,3
50/50	47,5	90,3	85,5	80,8 ***	76	59,4
60/40	57	91,2	87,4	83,6	79,8	66,5
70/30	66,5	92,2	89,3	86,5	83,6	73,6
75/25	71,1	92,6	90,1	87,8	85,4	77,1
85/15	80,8	93,6	92,2	90,7	89,3	84,3

Notas:

* La inclusión de escorias determina que el cemento sea portland y/o cemento portland de escoria de alto horno. Excepto para el intervalo de 100 por ciento portland mismo, se supone que todos los demás portland contienen un 95 por ciento de clínker.

** La proporción de productos se refiere al intervalo de productos de un país, p. ej., 75 por ciento de la producción total es portland y el resto es mezcla.

Se supone que todo el cemento hidráulico es portland y/o mezclado, o puzolano puro. Para la albañilería, se aproximaría una proporción de productos entre 60/40 y 70/30 de portland/mezcla, para la columna de 75 por ciento de aditivo. Se supone que los otros cementos hidráulicos (p. ej., los aluminosos) son nulos.

*** Ejemplo: Fracción de clínker para un país donde la producción de cemento es 50 por ciento de cemento portland y 50 por ciento de cemento mezclado, y el cemento mezclado contiene 70 por ciento de cemento portland y 30 por ciento de aditivos.

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 requiere la recolección de datos sobre la producción de clínker. Se sugiere que si para los censos nacionales se sondean actualmente datos sobre la producción de cemento, el compilador del inventario debe investigar la posibilidad de ampliar los sondeos para recolectar datos sobre la producción de clínker. Es una *buen práctica* recopilar datos sobre la producción de clínker directamente de las estadísticas nacionales, o bien, preferentemente, de las plantas individuales. Se sugiere también que los compiladores del inventario recolecten información sobre el contenido de CaO del clínker y la fracción de éste que proviene de carbonatos. Allí donde haya datos disponibles sobre el CaO proveniente de fuentes no carbonatadas (p. ej., escorias o cenizas volantes),

este CaO no debe incluirse en el contenido de CaO del clínker utilizado para calcular las emisiones. En la medida de lo posible, los datos deben ser recolectados para documentar las prácticas de captura y reciclado en las plantas e igualmente para determinar la composición media o típica y la fracción de calcinación del CKD. Más que la utilización de totales nacionales, es la recolección de datos de los productores individuales (si ésta es completa) la que reduce la incertidumbre de las estimaciones, pues estos datos darán cuenta de las variaciones de las condiciones al nivel de las plantas.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es probable que el tipo de datos de la actividad requeridos para el Nivel 3 esté disponible sólo en las plantas individuales. Toda entidad que genere informes haciendo uso del Nivel 3 debe garantizar que todas las entradas de carbonatos (es decir, los tipos, las cantidades, todas las fuentes) hacia los hornos de altas temperaturas, hayan sido investigadas por completo como parte de la implementación inicial del método de Nivel 3, y que esta investigación completa se repita cada vez que ocurran cambios significativos en los materiales y en los procesos. Tras un análisis completo de las entradas de carbonatos, y bajo la premisa de que no ocurre ningún cambio significativo ni en la composición de los materiales, ni en el proceso de producción, resulta coherente con las *buenas prácticas* determinar un factor de emisión riguroso y específico de la planta que esté basado en el análisis de las entradas de carbonatos y aplicar este factor de emisión a la producción de clínker (que suele calcularse en forma diaria). Así, los datos de producción de clínker podrán ser utilizados ulteriormente en los cálculos para estimar las emisiones en calidad de datos representativos. Para mantener la coherencia con las *buenas prácticas*, este vínculo debe reevaluarse periódicamente.

En general, en una planta de cemento típica, la piedra caliza o las rocas carbonatadas similares serán las materias primas dominantes (80 a 90 por ciento) y estos datos deberán recolectarse anualmente. Sin embargo, es probable que haya un componente carbonatado en las arcillas, esquistos, arenisca y otras materias primas complementarias, así como en el carbón y tal vez en algunos otros combustibles. Si durante el desarrollo de una investigación completa se determina que la cantidad de carbonatos provenientes de fuentes menores es pequeña (p. ej., inferior al 5 por ciento del carbonato total), la planta puede aplicar un valor constante para la (o las) fuentes menores en los años intermedios previos a una subsiguiente investigación completa. Al reconocer que la estimación de los datos de la actividad para estas fuentes menores puede conducir a errores analíticos (u otros), se puede suponer, para los efectos del cálculo de emisiones, que la fuente menor de carbonatos es el CaCO_3 , pero esta hipótesis debe ser documentada de manera transparente.

De los datos de la actividad se deben excluir todos los carbonatos que, en vez de entrar al horno de altas temperaturas, sólo se introducen al molino de acabado. Por ejemplo, una planta puede «diluir» su cemento portland acabado mezclándolo con un pequeño porcentaje (1 a 5 por ciento) de piedra caliza molida. Los carbonatos añadidos en el molino de acabado no son calcinados y por lo tanto no contribuyen con CO_2 .

2.2.1.4 Exhaustividad

Al aplicar un método de Nivel 1, los compiladores del inventario deben estar ciertos de dar cuenta de las importaciones y exportaciones de clínker. En el caso de los países importadores netos de clínker, el error de no deducir las importaciones netas de clínker produce una sobreestimación de las emisiones provenientes de la producción de cemento. En el caso de los países exportadores netos de clínker, el error de no incluir las exportaciones netas produce una estimación insuficiente de las emisiones provenientes de las plantas de cemento. Las fuentes potenciales de datos comerciales se discuten en la Sección 2.2.1.3.

Los datos de producción de clínker pueden estar disponibles en las bases de datos de las estadísticas nacionales, o bien, pueden recolectarse si no se han publicado en las estadísticas nacionales. Los datos sobre la producción de cemento y/o de clínker tomados de las estadísticas nacionales pueden no estar completos en algunos países en los que una parte sustancial de la producción proviene de numerosos hornos pequeños, en particular los hornos de caña vertical, cuyos datos son difíciles de obtener.

La exhaustividad es una cuestión particularmente importante a considerar allí donde se utilizan datos específicos de las plantas para estimar las emisiones nacionales mediante el método de Nivel 3. Bajo el Nivel 3, es importante que se consideren todas las plantas que producen clínker y que todos los carbonatos utilizados para fabricarlo estén incluidos en los cálculos de emisiones. Las plantas productoras de clínker están bien identificadas en cada país, pero los datos sobre la fracción de peso de los carbonatos consumidos pueden no ser fácilmente asequibles. Para que el método de Nivel 3 pueda considerarse como «exhaustivo», deben registrarse todos los carbonatos consumidos.

En aquellos países donde sólo un subconjunto de las plantas de clínker declara datos para el método de Nivel 3 o donde se da una transición del Nivel 2 hacia el Nivel 3, quizá no sea posible declarar emisiones utilizando el Nivel 3 para todas las instalaciones durante el período de transición. Si los datos sobre las entradas de carbonatos no están disponibles para que todas las plantas declaren las emisiones utilizando el Nivel 3, es posible que se

pueda determinar la parte de la producción representada por las plantas que no declaran y usar esta información para estimar las emisiones restantes utilizando el Nivel 2, de modo que se garantice la exhaustividad durante el período de transición. Cuando un país cambia del Nivel 1 al Nivel 2, se puede aplicar un procedimiento similar.

También se debe considerar la eventualidad del cómputo doble. Por ejemplo, los compiladores del inventario deben revisar las estadísticas utilizadas para estimar las emisiones de las categorías de fuente «Otros usos de carbonatos en los procesos» para garantizar que las emisiones declaradas en esa categoría de fuente no resulten del uso de esos carbonatos en la producción de cemento. Allí donde los carbonatos se emplean para la producción de cemento, la emisión debe declararse bajo Producción de cemento. Por último, los compiladores del inventario deben incluir en esta categoría de fuente sólo las emisiones relacionadas con el proceso de producción de cemento. Para evitar el cómputo doble, es una *buena práctica* justificar las emisiones relacionadas con la combustión en el volumen Energía.

Existe una cuestión adicional que, aunque no está incluida en la metodología actual, puede llegar a ser pertinente para consideraciones futuras. La cal libre (CaO que no forma parte de las fórmulas de materiales de clínker mencionada más arriba) liberada durante el curado del concreto (es decir, durante la hidratación de los minerales del clínker) puede llegar a reabsorber CO₂ atmosférico en un proceso llamado carbonización. Sin embargo, la velocidad de carbonización es muy lenta (demora de años a siglos) y desde un punto de vista práctico, no debe considerarse una *buena práctica* tomarlo en cuenta. Ésta es un área de trabajo futuro, previa a su inclusión en los inventarios nacionales.

2.2.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

Estas *Directrices* introducen dos cambios en la estimación de las emisiones provenientes de la producción de cemento. En primer lugar, según el Nivel 1, el factor de emisión por defecto incluye ahora un factor corrector de 2 por ciento para el CKD. El factor corrector para el CKD se incluye ahora en el Nivel 1 porque refleja mejor las fuentes de emisiones durante la producción del clínker. Es una *buena práctica* recalcular las estimaciones anteriores de emisiones de Nivel 1, utilizando el factor de emisión presentado en la Sección 2.2.1.2.

Igualmente, se ha introducido un nuevo método de Nivel 3 basado en las entradas de carbonatos en la producción de clínker. Históricamente, estos datos pueden estar disponibles o no. Si el compilador del inventario decide implementar el Nivel 3 para los inventarios actuales y futuros (en contraste con un método histórico de Nivel 2), se lo alienta a recopilar estos datos para años históricos con el fin de garantizar la coherencia de la serie temporal. Cuando no disponga de datos, el compilador puede referirse al «Método de la superposición parcial» (véase Volumen 1, Sección 5.3) para intentar recalcular las estimaciones previas. Esta relación entre las emisiones estimadas a partir del método de las entradas de carbonato (Nivel 3) y el método basado en las salidas de la producción de clínker (Nivel 2) debería ser, para una planta en particular, relativamente constante a través del tiempo; pero puede fallar si el número de plantas o sus tecnologías o sus materias primas han cambiado significativamente con el tiempo. Una vez establecida esta relación, las estimaciones previas pueden ser recalculadas basándose en ella (véase el Volumen 1, Sección 5.3). Cuando los compiladores cambian del método de Nivel 1 al de Nivel 2, se puede aplicar un procedimiento similar.

2.2.2 Evaluación de incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre para la producción de cemento son el resultado predominante de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y en una menor medida, de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión del clínker.

2.2.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

Para el Nivel 1, el componente mayor de la incertidumbre es el de la fracción de clínker del (o los) cementos producidos. Si no se dispone de datos fiables sobre las importaciones y las exportaciones de clínker, la incertidumbre en la estimación de su producción será más alta. Aunque el factor corrector por defecto para el CKD posee una incertidumbre muy grande, su efecto sobre el cálculo de las emisiones globales es aún menor que la incertidumbre asociada con la fracción de clínker. Bajo el Nivel 2, la fuente mayor de incertidumbre está asociada con la determinación del contenido de CaO del clínker. Si se dispone de datos sobre el clínker, la incertidumbre del factor de emisión es igual a la incertidumbre de la fracción de CaO y a la incertidumbre asociada a la hipótesis de que éste proviene en totalidad del CaCO₃ (Cuadro 2.3). Para el Nivel 3, la incertidumbre asociada con los factores de emisión de la fuente de carbonatos es relativamente pequeña, pues éstos se basan en cocientes estequiométricos. Puede haber algo de incertidumbre asociada a la hipótesis, en el Nivel 3, de que la calcinación de los carbonatos del CKD es del 100 por ciento.

Independientemente del Nivel implementado, en general, el CKD es el factor menos caracterizado en la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cemento.

2.2.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Cuando los datos sobre la producción de clínker se estiman a partir de la producción de cemento, la incertidumbre en los datos de la actividad puede acercarse a valores tan altos como un 35 por ciento. Para el Nivel 2, la incertidumbre en los datos sobre los tonelajes de producción de clínker, cuando están disponibles, es del orden del 1 por ciento al 2 por ciento. En vez de usar totales nacionales, la recolección de datos de los productores individuales (si es completa) reduce la incertidumbre de las estimaciones, pues estos datos darán cuenta de las variaciones de las condiciones al nivel de las plantas. Esto es particularmente importante para determinar las posibles diferencias en la composición del clínker y en las irregularidades de la producción anual de cemento (es decir, que varias veces al año se utilicen las reservas de clínker en vez de producirlo). Con excepción del CKD, las fuentes más grandes de incertidumbre asociadas con el Nivel 3, son las incertidumbres asociadas con la identificación de las especies de carbonatos (entre 1 y 5 por ciento) y con los pesos de las materias primas.

Aunque las emisiones son mucho menores que las de los carbonatos, en las estimaciones de Nivel 2 puede haber una incertidumbre considerable asociada a la estimación de las emisiones del CKD, como también en las de Nivel 3, si las plantas no pesan el CKD que no se recicla hacia el horno o si las plantas no están equipadas con torres lavadoras de gases (*scrubbers*). Cuando se desconoce el peso y la composición del CKD de una planta, la incertidumbre es mayor. A guisa de ejemplo, se ha intentado estimar las incertidumbres aproximadas para los diferentes factores que aparecen en las Ecuaciones 2.1 – 2.5 y/o en las etapas de la fabricación del clínker y del cemento. Las incertidumbres se presentan en el Cuadro 2.3 y son incertidumbres aproximadas de los componentes, es decir, son aquellas asociadas con una etapa o con una actividad de la fabricación del clínker particular. Con el fin de cuantificar la incertidumbre para la producción del cemento (clínker), las incertidumbres por defecto presentadas en el Cuadro 2.3 deben combinarse según la orientación del Volumen 1, Sección 3.2.3. Donde se presentan intervalos para los valores de incertidumbre, se deben utilizar valores medios del intervalo, a menos que las circunstancias específicas del país o de la planta sugieran que se debe utilizar otro valor.

CUADRO 2.3 VALORES DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO		
Incertidumbre ^a	Comentario	Nivel
Análisis químico/Composición		
2-7%	Hipótesis de un factor de 95% de clínker en el cemento portland	1
1-2%	Análisis químico del clínker para determinar el CaO	2
3-8%	Hipótesis de un 65% de CaO en el clínker	2
1-3%	Hipótesis de que el 100% del CaO proviene del CaCO ₃ (la incertidumbre es mayor si se utilizan escorias o cenizas volantes que no se contabilizan)	2
1%	Hipótesis de un 100% de calcinación del carbonato destinado a formar el clínker	2, 3
1-3%	Determinación del kerógeno (u otro carbono que no proviene de carbonatos)	3
1-3%	Análisis químico global en relación con el contenido de carbonato (masa) y con el tipo	3
1-5%	Hipótesis de que la especie de carbonato es 100% CaCO ₃	3

CUADRO 2.3		
VALORES DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO		
Incertidumbre^a	Comentario	Nivel
Datos de producción		
1-2%	Datos de producción de cemento declarados (al nivel de planta)	1
35%	Hipótesis de que la producción de un país es 100% de cemento portland	1
10%	Uso de estimaciones (estadísticas nacionales) sobre los datos de producción de un país (o síntesis por agregación de las plantas)	1, 2
Variable	Uso de datos de pesos declarados, pero redondeados, para el cemento o el clínker (p. ej., informes de nivel nacional expresados en grandes unidades; la incertidumbre es de una unidad de la última cifra significativa mostrada)	1, 2
1-2%	Pesaje o cálculo de la producción de clínker; supone una declaración completa	2
1-3%	Incertidumbre de los pesajes de materias primas en las plantas	3
CKD		
25-35%	Hipótesis por defecto de que las emisiones del CKD corresponden a un 2% de las emisiones relacionadas con la producción del clínker. Esta incertidumbre presupone que un 33% a un 50% del clínker no se recicla. En ausencia de reciclado o si el porcentaje de calcinación excede significativamente el 50%, la incertidumbre puede llegar a un 50% o más.	
1%	Hipótesis de que los componentes originales del CKD son los de la mezcla cruda	2, 3
1%	Hipótesis de que todos los carbonatos (calcinados o restantes) en el CKD son CaCO ₃	2, 3
10-35%	Estimación del porcentaje de calcinación del CKD	2, 3
20-80%	Hipótesis de un 100% de calcinación para el CKD	2, 3
hasta un 60%	Hipótesis de un 50% de calcinación del CKD	2, 3
5%	Pesaje del CKD capturado por las torres lavadoras de gases (scrubbers)	2, 3
1-3%	Pesaje del CKD capturado por lastorres lavadoras de gases que vuelve al horno	2, 3
5-10%	Pesaje del CKD capturado por las torres lavadoras de gases que no se recicla en el horno (otra eliminación)	2, 3
10-15%	Estimación del peso del CKD redirigido automáticamente hacia el horno	2, 3
20-30%	Estimación del peso del CKD si nada se recupera ni se recicla hacia el horno	2, 3
Importaciones/exportaciones		
10%	Datos comerciales sobre el clínker (si los códigos tarifarios se identifican claramente y no se incluye el cemento)	1
50% del tonelaje importado	Sobreestimación del error de no deducir las importaciones netas de clínker para el consumo (esto se debe al hecho de que, según la Ecuación 2.4, el CO ₂ constituye la mitad del peso del clínker)	1

^a Estimaciones basadas en dictámenes de expertos.

2.2.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

2.2.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

Además de las orientaciones generales sobre GC/CC, se delinean a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES OBTENIDAS MEDIANTE LOS DIFERENTES MÉTODOS

Se pueden hacer comparaciones entre las emisiones estimadas mediante los diferentes niveles. Por ejemplo, si para recolectar los datos de la actividad se usa un tratamiento «de abajo hacia arriba» (es decir, recopilación de datos específicos de las plantas), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas a partir de los datos nacionales de producción para el cemento o el clínker (tratamiento «de arriba hacia abajo»). En los casos en los que se utiliza un método híbrido de Nivel 1/2 ó Nivel 2/3 durante un período de transición, se considera una *buena práctica* estimar las emisiones para todas las instalaciones que utilizan el Nivel más bajo para comparar los resultados del análisis con los resultados obtenidos con el empleo del método híbrido. Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

REVISIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión nacionales agregados con los factores por defecto del IPPC para determinar si el factor nacional es razonable respecto del factor por defecto del IPPC. Las diferencias entre los factores nacionales y los factores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativos de circunstancias diferentes.

Si se utiliza el método agregado «de arriba hacia abajo», pero se dispone de algunos datos limitados específicos para las plantas, los compiladores del inventario deben comparar los factores al nivel de planta o de instalación con el factor agregado empleado para la estimación nacional. Esto indica si los datos son razonables y representativos.

VERIFICACIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD ESPECÍFICOS DE LAS INSTALACIONES

Para los datos específicos de las instalaciones, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre las instalaciones para establecer si ello refleja la presencia de errores, de diferentes técnicas de medición, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones operativas o en las tecnologías. Para la producción de cemento, los compiladores del inventario deben comparar los datos de la planta (contenido de CaO del clínker, contenido de clínker en el cemento) con los de otras plantas del país.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de actividad se determinan de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces debe evaluarse cuidadosamente la utilización de estas emisiones o datos de actividad, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Si se observa un estándar elevado en las mediciones y la GC/CC se aplica en la mayoría de las instalaciones, se puede revisar hacia abajo la incertidumbre de las estimaciones de emisiones.

2.2.3.2 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales. A continuación se definen la documentación y los informes pertinentes para esta categoría de fuente.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de los datos sobre producción de cemento, también se deben declarar las cantidades de importación y exportación de clínker. Cualquier información relacionada con el contenido de CaO del clínker debe documentarse, incluido el uso de valores por defecto diferentes de los que se discuten en la Sección 2.2.1.2.

MÉTODO DE NIVEL 2

La documentación del Nivel 2 debe incluir una descripción sobre la forma en la que el organismo que declara ha estimado la producción de clínker (es decir, por pesaje directo, por determinación del peso a partir del volumen de la pila de clínker, por cálculo sobre las entradas de materias primas, etc.) y sobre el nivel al cual se recolectaron los datos de la actividad (es decir, al nivel de planta o al nivel nacional). El método para determinar el contenido de CaO del clínker (p. ej., específico del país o por defecto del IPPC) debe documentarse conjuntamente con toda información específica de la planta en relación con la cantidad y el tipo de suministros no carbonatados al horno, tales como la escoria o las cenizas volantes. Deben documentarse todos los procedimientos empleados para cuantificar y determinar el grado de calcinación del CKD. Se debe declarar en forma transparente cuando se haga la hipótesis de que las emisiones de CKD son iguales al 2 por ciento de las emisiones provenientes de la producción de clínker.

MÉTODO DE NIVEL 3

Al documentar el método de Nivel 3 es importante documentar todos los procedimientos empleados y las metodologías utilizadas para identificar la fracción de peso y la identidad de todos los carbonatos, incluidos los carbonatos incorporados en todas las arcillas, esquistos, areniscas u otras materias primas suplementarias que se consumen como materias primas, conjuntamente con sus respectivos factores de emisión.

En la estimación del total de emisiones provenientes de las entradas de carbonatos, es posible sobreestimar las emisiones si los carbonatos no son calcinados completamente. Toda corrección debe ser documentada. Esto incluye la documentación de la fracción de calcinación de las materias primas y la cantidad y fracción de calcinación del CKD.

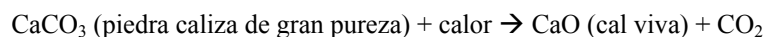
Es probable que las plantas consideren impracticable la realización de análisis químicos de todas las entradas de materias primas de manera diaria a los fines de los cálculos de CO₂. En vez de ello, en cada instalación se realizará una investigación completa, un cierto número de veces al año, para caracterizar completamente las entradas de carbonatos. Así, en las instalaciones será posible determinar una relación entre las entradas de carbonatos y la producción de clínker, la cual podrá aplicarse a los cálculos de rutina de la instalación durante los periodos intermedios. Además de identificar todos los procedimientos empleados para calcular las emisiones a partir de las entradas de carbonatos, deben documentarse todos los pasos necesarios para identificar la relación entre entradas de carbonato y producción de clínker.

Toda información relacionada debe ser documentada y declarada; no se considera una *buena práctica* simplemente declarar las estimaciones finales de las emisiones.

2.3 PRODUCCIÓN DE CAL

2.3.1 Cuestiones metodológicas

El óxido de calcio (CaO o cal viva) se forma al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos. Se hace generalmente en hornos de caña u hornos rotatorios a altas temperaturas y en el proceso se libera CO₂. Según los requerimientos del producto (p. ej., metalurgia, pulpa y papel, materiales de construcción, tratamiento de efluentes, ablandamiento de aguas, control del pH y estabilización de suelos), se utiliza principalmente la piedra caliza con fuerte proporción de calcio (calcita), según la reacción siguiente:



La dolomita y las piedras calizas dolomíticas (con fuerte proporción de magnesio) pueden también procesarse a altas temperaturas para obtener cal dolomítica (y liberar CO₂) según la reacción siguiente:

$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomita) + calor \rightarrow CaO·MgO (cal de dolomita) + 2CO₂. En algunas instalaciones, se produce también cal hidratada (apagada) mediante operaciones adicionales de hidratación.

La producción de cal se realiza en una serie de etapas, incluida la extracción de las materias primas, la trituración y el calibrado, la calcinación de las materias primas para producir cal y (si se requiere) la hidratación de la cal para obtener hidróxido de calcio.

En algunos casos, el consumo de cal como producto puede no resultar en emisiones netas de CO₂ hacia la atmósfera. El uso de la cal hidratada para ablandar las aguas, por ejemplo, resulta en que el CO₂ reaccione con la cal para volver a formar carbonato de calcio, lo cual no produce emisiones de CO₂ hacia la atmósfera. De manera similar, el carbonato de calcio precipitado que se usa en la industria del papel así como en otras aplicaciones industriales, es un producto derivado de la reacción entre el CO₂ y la cal viva con fuerte proporción de calcio. Durante el proceso de la refinación del azúcar, se utiliza la cal para eliminar las impurezas del jugo de caña crudo; todo exceso de cal puede eliminarse mediante carbonización. En estas industrias específicas, toda recarbonización puede calcularse y declararse sólo donde se empleen métodos probados y validados para calcular la cantidad de CO₂ que reacciona con la cal para volver a formar el carbonato de calcio. Allí donde se cumplan estas condiciones, esto puede declararse bajo la Categoría 2H, Otros.

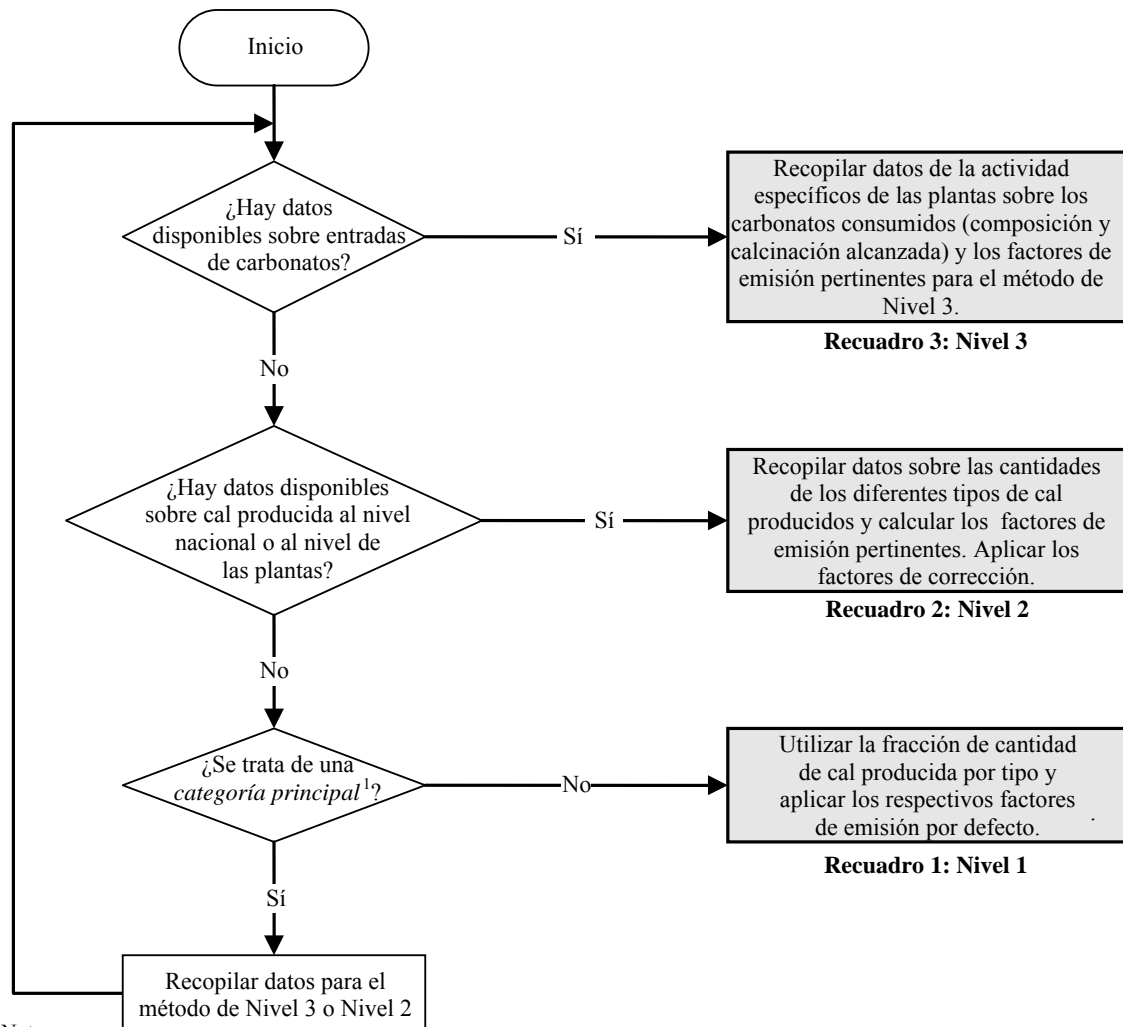
Tal como se analiza en la Sección 2.3.1.3, durante la producción de cal puede generarse polvo de horno de cal (LKD, del inglés, *Lime Kiln Dust*). Las estimaciones de emisiones determinadas mediante el Nivel 2 y el Nivel 3 deben dar cuenta de las emisiones asociadas con el LKD.

2.3.1.1 Elección del método

Al igual que en el caso de las emisiones procedentes de la producción de cemento, existen tres metodologías básicas para estimar las emisiones provenientes de la producción de cal: un método basado en las salidas, en el cual se usan valores por defecto (Nivel 1); un método basado en las salidas en el cual se estiman las emisiones de la producción de CaO y de CaO·MgO y se usa información específica del país para los factores correctores (Nivel 2); y un método basado en las entradas de carbonato (Nivel 3). A la diferencia del método de Nivel 3 que requiere una evaluación específica para la planta, los métodos de Nivel 1 y Nivel 2 pueden aplicarse, ya sea a las estadísticas nacionales, o donde sea posible, a las de las plantas. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, como se muestra en la Figura 2.2.

Es una *buena práctica* evaluar las estadísticas nacionales disponibles respecto de la exhaustividad y de las proporciones de piedra caliza a dolomita utilizadas en la producción de cal. Algunas industrias producen reactivos de cal no comerciales para utilizarlos en sus propios procesos (p. ej., la industria del hierro y del acero para usos como agente de escorificación). Toda producción de cal, sea ésta fabricada como un producto comercial o no comercial, debe declararse bajo la Subcategoría 2A2 del IPPC, Producción de cal.

Figura 2.2 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cal**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de Categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 se basa en la aplicación de un factor de emisión por defecto a los datos nacionales de producción de cal. Si bien para una *buena práctica* de Nivel 1 no es necesaria la información específica del país

sobre la producción de cal por tipos (p. ej., cal con fuerte proporción de calcio, cal de dolomita o cal hidráulica), los datos pueden usarse allí donde estén disponibles para identificar los tipos específicos de cal producida en el país. No es necesario dar cuenta del LKD para una *buena práctica* de Nivel 1.

MÉTODO DE NIVEL 2

Si hay datos de nivel nacional sobre los tipos de cal producidos, es una *buena práctica* estimar las emisiones mediante la Ecuación 2.6. El método de Nivel 2 requiere de información específica del país sobre la proporción de cal hidratada que se produce. Se deben obtener las proporciones típicas de producto de cal respecto de producción de LKD al nivel de planta.

ECUACIÓN 2.6 NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN LOS DATOS DE PRODUCCIÓN NACIONAL DE CAL, POR TIPOS

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i (EF_{cal,i} \cdot M_{l,i} \cdot CF_{lkd,i} \cdot C_{h,i})$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cal, toneladas

EF_{cal,i} = factor de emisión para la cal de tipo *i*, toneladas de CO₂/ toneladas de cal (véase Ecuación 2.9)

M_{l,i} = producción de cal de tipo *i*, toneladas

CF_{lkd,i} = factor corrector para el LKD para la cal de tipo *i*, sin dimensión

Esta corrección puede justificarse de una manera similar que para el CKD (Ecuación 2.5, pero se omite el factor (EF_c/EF_{cl}))

C_{h,i} = factor corrector para la cal hidratada del tipo de cal *i*, sin dimensión (Véase el análisis de la Sección 2.3.1.3, Elección de los datos de la actividad.)

i = cada una de las cales específicas enumeradas en el Cuadro 2.4

MÉTODO DE NIVEL 3

El Nivel 3 se basa en la recolección de datos específicos de la planta sobre el (o los) tipos y cantidades de carbonatos consumidos para producir cal, así como sobre el (o los) factores de emisión respectivos del (o de los) carbonatos consumidos. El método de Nivel 3 para estimar emisiones provenientes de la producción de cal es similar al de la Ecuación 2.3 para la producción de cemento, excepto que hay una corrección para el LKD en vez del CKD y que no es necesario corregir para las emisiones provenientes de materiales no combustibles que contienen carbono. A diferencia del caso del CKD y de los hornos de cemento, el LKD es rara vez reciclado hacia el horno de cal (pero el LKD puede usarse como suministro para un horno de cemento). Para los efectos de la estimación de las emisiones en la Ecuación 2.7, se supone que el LKD no se recicla hacia el horno.

ECUACIÓN 2.7 NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LAS ENTRADAS DE CARBONATOS

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i) - M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cal, toneladas

EF_i = factor de emisión para el carbonato en particular *i*, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase el Cuadro 2.1)

M_i = peso o masa del carbonato *i* consumido en el horno, toneladas

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato *i*, fracción ^a

M_d = peso o masa del LKD, toneladas

C_d = fracción del peso del carbonato original en el LKD, fracción ^a. Este factor puede justificarse de una manera similar que para el CKD.

F_d = fracción de calcinación alcanzada para el LKD, fracción ^a

EF_c = factor de emisión para el carbonato no calcinado en el LKD, toneladas de CO₂/toneladas de carbonato ^b

Notas sobre los valores por defecto para la Ecuación 2.7

- a: Fracciones de calcinación: en ausencia de datos reales, es coherente con las *buenas prácticas* suponer que el grado de calcinación alcanzado es de un 100 por ciento (p. ej., $F_i = 1,00$) o muy cercano a este valor. Para el LKD, es más probable un valor de $F_d < 1,00$, pero los datos pueden presentar una gran variabilidad y una fiabilidad relativamente baja. En ausencia de datos fiables para el LKD, la suposición de un valor de $F_d = 1,00$ anulará la corrección por sustracción para el carbonato no calcinado restante en el LKD.
- b: Debido a que el carbonato de calcio es el carbonato más dominante entre las materias primas, en ausencia de mejores datos puede suponerse que éste totaliza el 100 por ciento del carbonato restante en el LKD. Es por lo tanto coherente con las *buenas prácticas*, que se asigne a C_d un valor igual a la proporción de carbonato de calcio existente en la materia prima que se introduce en el horno. Igualmente, en la ausencia de mejores datos, es coherente con las *buenas prácticas* que se use el factor de emisión del carbonato de calcio para EF_d .

2.3.1.2 Elección de los factores de emisión

MÉTODO DE NIVEL 1

El Nivel 1 es un método basado en las salidas y aplica un factor de emisión a la cantidad total de cal producida. El factor de emisión se basa en los cocientes estequiométricos ilustrados en el Cuadro 2.4, que varían según el tipo de cal producida. El cociente estequiométrico representa la cantidad de CO_2 liberada por el carbonato precursor de la cal, si se supone que el grado de calcinación alcanzado es del 100 por ciento y que no hay LKD. Por ejemplo, 1 tonelada de CaO requiere la calcinación de 1,785 toneladas de $CaCO_3$, lo cual libera 0,785 toneladas de CO_2 si la calcinación es completa.

En ausencia de datos específicos del país, es una *buen práctica* suponer un 85 por ciento de producción de cal con fuerte proporción de calcio y un 15 por ciento de producción de cal de dolomita (Millar, 1999). Sobre esta base, la Ecuación 2.8 ilustra cómo calcular el factor de emisión de Nivel 1 para la producción de cal.

ECUACIÓN 2.8

NIVEL 1: FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL

$$\begin{aligned}
 EF_{cal} &= 0,85 \cdot EF_{cal \text{ con fuerte proporción de calcio}} + 0,15 \cdot EF_{cal \text{ de dolomita}} \\
 &= 0,85 \cdot 0,75 + 0,15 \cdot 0,77^a \\
 &= 0,6375 + 0,1155 \\
 &= 0,75 \text{ toneladas de } CO_2 / \text{ toneladas de cal producida}
 \end{aligned}$$

Notas sobre los valores por defecto para la Ecuación 2.8:

- a: El valor por defecto EF para la cal de dolomita puede ser 0,86 ó 0,77 según la tecnología empleada para la producción de cal. Véase Cuadro 2.4.

CUADRO 2.4 PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE LOS FACTORES DE EMISIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL					
Tipo de cal	Cociente estequiométrico [toneladas de CO ₂ por tonelada de CaO o de CaO·MgO] (1)	Intervalo del contenido de CaO [%]	Intervalo del contenido en MgO [%] ^d	Valor por defecto para el contenido de CaO o de CaO·MgO [fracción] (2)	Factor de emisión por defecto [toneladas de CO ₂ por tonelada de cal] (1) • (2)
Cal con fuerte proporción de calcio ^a	0,785	0,785	0,3-2,5	0,95	0,75
Cal de dolomita ^b	0,913	55-57	38-41	0,95 ó 0,85 ^c	0,86 ó 0,77 ^c
Cal hidráulica ^b	0,785	65-92 ^c	NA	0,75 ^e	0,59

Fuente:
^a Miller (1999b) basado en ASTM (1996) y Schwarzkopf (1995).
^b Miller (1999a) basado en Boynton (1980).
^c Este valor depende de la tecnología utilizada por la producción de cal. El valor más alto se sugiere para los países desarrollados, el más bajo para los países en desarrollo.
^d No existe una fórmula química exacta para cada tipo de cal porque la química del producto cal está determinada por la química de la piedra caliza o la dolomita utilizada para fabricar la cal.
^e El contenido total en CaO (incluido aquél de las fases de silicatos).

MÉTODO DE NIVEL 2

De manera similar al Nivel 1, el factor de emisión para la producción de cal del Nivel 2 refleja las proporciones estequiométricas entre el CaO y/o el CaO·MgO, así como el ajuste que da cuenta del contenido de CaO o en CaO·MgO de la cal. Sin embargo, a diferencia del Nivel 1, el Nivel 2 requiere la utilización de datos de nivel nacional sobre la producción de cal por tipos. Es una *buena práctica* aplicar la Ecuación 2.9 para determinar los factores de emisión y para dar cuenta del contenido de CaO o en CaO·MgO.

<p>ECUACIÓN 2.9</p> <p>NIVEL 2: FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL</p> $EF_{cal,a} = SR_{CaO} \cdot \text{Contenido en CaO}$ $EF_{cal,b} = SR_{CaO \cdot MgO} \cdot \text{Contenido en MgO}$ $EF_{cal,c} = SR_{CaO} \cdot \text{Contenido en CaO}$

Donde:

$EF_{cal,a}$ = factor de emisión para la cal viva (cal con fuerte proporción de calcio), toneladas de CO₂/toneladas de cal

$EF_{cal,b}$ = factor de emisión para la cal de dolomita, toneladas de CO₂/toneladas de cal

$EF_{cal,c}$ = factor de emisión para la cal de dolomita, toneladas de CO₂/toneladas de cal

SR_{CaO} = cociente estequiométrico del CO₂ y CaO (véase Cuadro 2.4), toneladas de CO₂/toneladas de cal

$SR_{CaO \cdot MgO}$ = cociente estequiométrico del CO₂ y del CaO·MgO (véase Cuadro 2.4), toneladas de CO₂/toneladas de cal

Contenido de CaO = proporción de CaO en la cal (véase Cuadro 2.4), toneladas de CaO/toneladas de cal

Contenido de CaO·MgO = proporción de CaO·MgO en la cal (véase Cuadro 2.4), toneladas de CaO·MgO /toneladas de cal

MÉTODO DE NIVEL 3

Los factores de emisión del Nivel 3 se basan en los carbonatos efectivamente presentes. (Véase la Ecuación 2.7 y el Cuadro 2.1.) El Nivel 3 requiere una contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes) y puede incluir una corrección (p. ej., por sustracción) del polvo de horno de cal no calcinado.

2.3.1.3 Elección de los datos de la actividad

Algunas industrias producen cal y la consumen en sus propias operaciones. Puede suceder que esta cantidad de cal no llegue nunca al mercado. Es importante, al recolectar los datos de actividad para la producción de cal, que se incluyan tanto la producción de cal comercial como la de cal no comercial. En muchos países, la obtención de estadísticas sobre la producción de cal no comercial puede exigir muchos esfuerzos. Se sugiere que los compiladores del inventario identifiquen las industrias que potencialmente pueden producir cal no comercial (p. ej., la metalurgia, la pulpa y el papel, la refinación del azúcar, el precipitado de carbonato de calcio, los ablandadores de aguas) y que investiguen si hay tal producción. Como las industrias y los países pueden diferir significativamente respecto de las cantidades de cal no comercial producida, no es posible ofrecer un valor por defecto para estimar estos datos de actividad.

MÉTODO DE NIVEL 1

En el Nivel 1, los compiladores del inventario pueden utilizar valores por defecto para cualquier de las variables siguientes: (1) los tipos de cal producidos y/o (2) la proporción de cal hidratada producida. En el Cuadro 2.4 se presentan los datos sobre los cocientes estequiométricos, los intervalos de los contenidos en CaO y CaO·MgO y los factores de emisión resultantes para los tipos principales de cal producidos. Si no hay datos desagregados para desglosar los tipos de cal, es una *buena práctica* suponer que un 85 por ciento es cal con fuerte proporción de calcio y un 15 por ciento es cal de dolomita (Miller, 1999) y que la proporción de cal hidráulica deba suponerse nula, a menos que se disponga de otra información.

El método de Nivel 1 para la producción de cal no integra una corrección para el LKD. Es posible excluir algunas fuentes de cal del inventario nacional debido a problemas con los datos de actividad (véase Sección 2.3.1.4 y 2.3.2.2.) Si estas cuestiones no se consideran cuidadosamente, el método de Nivel 1 puede subestimar las emisiones.

MÉTODO DE NIVEL 2

Al implementar el método de Nivel 2 es importante recolectar datos desagregados para los tres tipos de cal, pues esto mejorará las estimaciones de emisiones. Hay tres tipos principales de cal no hidratada:

- Cal con fuerte proporción de calcio (CaO + impurezas);
- Cal de dolomita (CaO·MgO + impurezas);
- Cal hidráulica (CaO + silicatos de calcio hidráulicos), que es una sustancia entre la cal y el cemento.

La razón principal para distinguir estos tipos es que los dos primeros tienen factores de emisión diferentes. Es importante también corregir para la proporción de cal hidráulica en la producción. De manera parecida a la del método de Nivel 2 para la producción de cemento, deben recolectarse los datos sobre todas las fuentes no carbonatadas de CaO (cuando sea aplicable).

Durante la producción de cal pueden generarse cantidades importantes de LKD como producto derivado. Las cantidades generadas dependen del tipo de horno utilizado y de las características de los carbonatos empleados. Según Boynton (1980) un horno rotatorio típico genera una pérdida de polvos por fricción de 9 a 10 por ciento por tonelada de cal producida, o de 16 a 18 por ciento de la entrada de materia prima. La composición química del LKD varía según la materia prima de entrada, pero un LKD típico de cal con fuerte proporción de calcio puede contener un 75 por ciento de óxido de calcio y de carbonato de calcio no calcinado combinados (en una proporción aproximada de 50:50), las impurezas restantes son: sílice, óxidos de aluminio y de hierro, así como azufre (según el combustible utilizado). La corrección para el LKD en los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3 es análoga a la del CKD en la producción de cemento, tanto en metodología de cálculo como en valores por defecto. En la medida de lo posible, deben recolectarse datos sobre las proporciones típicas de LKD respecto de la producción de cal y sobre la composición típica del LKD. Ante la ausencia de datos, los compiladores del inventario pueden suponer una corrección aditiva del 2 por ciento para dar cuenta del LKD (es decir, multiplicar las emisiones por 1,02).

Los hornos de caña vertical generan relativamente poca cantidad de LKD y se dictamina que para los hornos de caña vertical, no es necesario estimar un factor corrector para el LKD pues resultaría insignificante.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* recopilar datos específicos de la planta para la fracción de peso del (o de los) carbonatos consumidos para la producción de cal y para la fracción de calcinación alcanzada. Deben recolectarse también datos sobre la cantidad (peso en seco) y la composición del LKD producido. Análogamente al método de Nivel 3 para la producción de cemento, las emisiones de LKD deben restarse de las estimaciones de Nivel 3 para la cal.

Cuando se estimen los datos de consumo de carbonatos, hay que considerar un par de cuestiones de primer orden. Los datos deben estar disponibles y recolectarse al nivel de planta, pues las estadísticas nacionales sobre consumo de carbonatos en la producción de cal pueden estar incompletas. De manera similar que para la producción del cemento, aunque es probable que la piedra caliza o la dolomita sean los carbonatos dominantes, es importante garantizar que todas las entradas de carbonatos estén identificadas y contabilizadas.

CORRECCIÓN PARA LA PROPORCIÓN DE CAL HIDRATADA

Tanto la cal con fuerte proporción de calcio como la cal de dolomita pueden «apagarse» y convertirse en cal hidratada, esto es, en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o en $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$. Es una *buena práctica* incluir una corrección para la cal hidratada bajo el Nivel 2 y donde haya datos disponibles, bajo el Nivel 1. Si no se dispone de datos para el Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que la producción de cal hidratada es nula.

Si x es la proporción de cal hidratada e y su contenido de agua, es una *buena práctica* multiplicar la producción por el factor corrector $1 - (x \cdot y)$. Dado que la gran mayoría de la cal hidratada producida tiene una fuerte proporción de calcio (90 por ciento), los valores por defecto son $x=0,10$ e $y=0,28$ (contenido de agua por defecto), lo que resulta en un factor corrector de 0,97. Este factor corrector por defecto para la cal hidratada puede incluirse en la Ecuación 2.6.

2.3.1.4 Exhaustividad

Para una *buena práctica* se necesitan datos de la actividad (esto es, de la producción de cal) completos. Es típico que la producción declarada dé cuenta sólo de una parte de la producción real, pues las estadísticas sobre la producción de cal pueden considerar sólo los productos vendidos en el mercado. Ni el uso ni la producción de cal como producto intermedio no comercial son debidamente contabilizados ni declarados. Por ejemplo, muchas plantas que producen acero, ceniza de sosa sintética, carburo de calcio, magnesia y metal de magnesio, así como las fundiciones de cobre y los ingenios azucareros, producen cal, pero no la declaran a los organismos nacionales. La omisión de estos datos puede conducir a una estimación insuficiente de la producción de cal de un país por un factor de dos o más. Igualmente, puede existir una producción de cal a la escala comunal o de carácter artesanal con fines sanitarios o para usos en el blanqueado. Toda producción de cal debe ser declarada en esta categoría de fuente, fuere producida en hornos de cal como producto comercial, o bien producida como sustancia para la alimentación a procesos de carácter no comercial.

Los compiladores del inventario deben tomar precauciones para evitar el cómputo doble o las omisiones entre esta categoría de fuente y las emisiones debidas al consumo de piedra caliza y de dolomita. Otra fuente potencial de cómputo doble que el compilador del inventario debe tener en mente está asociada con la cal hidratada. Si la producción de cal se corrige para la cal hidratada sin primero establecer que la cal empleada para producir cal hidratada esté incluida en la producción total de cal, la producción de este tipo de cal puede ser contabilizada de manera doble.

Al igual que para el análisis sobre el cemento, cuando se usa el Nivel 3 es importante que se dé cuenta de todas las entradas de carbonatos (p. ej., piedra caliza, dolomita, etc.) sobre una base específica de la planta.

Por último, los morteros a base de cal utilizados en la construcción aumentan su resistencia a través de absorción de CO_2 pero los índices de la reacción de carbonización que ocurre en la práctica son muy inciertos. Como se piensa que este proceso de carbonización en los morteros puede demorar meses o hasta decenios, no se ha factorizado en los cálculos de emisiones. En este momento, no se considera una *buena práctica* incluir este factor en los cálculos de las emisiones. Ésta es un área de trabajo futuro y previo a su inclusión en los inventarios nacionales.

2.3.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

Es una *buena práctica* calcular las emisiones para producción de cal empleando el mismo método en cada año de la serie temporal. Estas *Directrices* introducen un nuevo método de Nivel 3 que se basa en las entradas de carbonatos en la producción de cal. Históricamente, estos datos pueden estar disponibles o no. Si el compilador del inventario decide implementar este Nivel para los inventarios actuales y futuros, se lo alienta a recopilar estos datos para años históricos con el fin de garantizar la coherencia de la serie temporal. Cuando no se disponga de datos, el compilador puede referirse al «Método de la superposición parcial» (véase Volumen 1, Sección 5.3) para intentar recalculer las estimaciones previas.

Cuando no se disponga de datos, los compiladores del inventario que pasan del método de Nivel 1 al método de Nivel 2 pueden suponer que en el país no se ha producido un cambio significativo en el uso de una entrada de carbonatos hacia otras entradas respecto de la producción de cal. Es una hipótesis bastante razonable, dado que, en particular, la piedra caliza es generalmente la entrada de carbonato predominante.

Los compiladores del inventario deben desagregar los datos de producción de cal en los tres tipos mencionados: cal con fuerte proporción de calcio, cal de dolomita y cal hidráulica. Allí donde no se disponga de datos específicos del país para toda la serie temporal sobre la proporción de cal consumida o sobre la proporción de cal hidratada, pueden estimarse los años restantes mediante el Método de interpolación o de extrapolación de tendencias, tal como se plantea en el Volumen 1, Sección 5.3; o bien, puede suponerse que el año en curso es representativo de la proporción de cal producida en los años precedentes de la serie temporal.

2.3.2 Evaluación de incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre para la producción de cal resultan predominantemente de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y en menor medida, de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión. Para más información, refiérase, más arriba, a la discusión sobre incertidumbre para la producción de cemento.

CUADRO 2.5 VALORES DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ DE LA PRODUCCIÓN DE CAL		
Incertidumbre	Comentario	Nivel
4-8%	Incetidumbre al suponer un contenido promedio de CaO en la cal	1, 2
2%	Factor de emisión de la cal con fuerte proporción de calcio	1, 2
2%	Factor de emisión de la cal de dolomita	1, 2
15%	Factor de emisión de la cal hidráulica	1, 2
5%	Corrección para la cal hidratada	1, 2
	Posibles errores en el orden de magnitud si no se estima la producción de cal no comercial	1, 2, 3
1-2%	Incetidumbre de los datos de producción de cal al nivel de planta Generalmente, las plantas no determinan las salidas con una mejor precisión. Esto supone declaraciones completas.	2
Véase Cuadro 2.3	Corrección para el LKD	2, 3
1-3%	Error en la hipótesis de que el 100% de la fuente de carbonato proviene de la piedra caliza (en relación con otros suministros)	3
1-3%	Incetidumbre de los pesajes de materias primas en las plantas	3

Fuente: Basado en dictamen de expertos.

2.3.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

Tal como se ha delineado más arriba para el cemento, existe una pequeña incertidumbre asociada con el componente del factor de emisión del método de Nivel 3. En el Nivel 2 y el Nivel 1, el cociente estequiométrico es un número exacto y por lo tanto, la incertidumbre del factor de emisión es la incertidumbre de la composición de la cal, en particular la de la parte de cal hidráulica (la incertidumbre del factor de emisión de la cal hidráulica es del 15 por ciento y la incertidumbre para otros tipos de cal es del 2 por ciento). Hay una incertidumbre asociada a la determinación del contenido de CaO y/o en CaO•MgO de la cal producida.

2.3.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Al basarse en la experiencia de recolección de datos sobre la cal, resulta probable que la incertidumbre para los datos de actividad sea muy superior a la de los factores de emisión (véase, más arriba, la Sección 2.3.1.4, Exhaustividad) La omisión de la producción de cal no comercial puede conducir a subestimaciones en el orden de magnitud. La corrección para la cal hidratada conduce generalmente a una incertidumbre adicional.

Como fuera descrito más arriba para el caso del CKD, existe una incertidumbre significativa asociada con la cuantificación de la masa del LKD producido y con el grado de calcinación (y por ende de las emisiones) del LKD. Puede suponerse que la incertidumbre asociada con la estimación del LKD es por lo menos igual o mayor que la incertidumbre asociada con el CKD.

Allí donde, en el Cuadro 2.5, se proponen intervalos para las incertidumbres por defecto, debe emplearse el intervalo medio, a menos que las estimaciones superiores o inferiores reflejen mejor las circunstancias específicas del país.

2.3.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

2.3.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

Además de las orientaciones interdisciplinarias sobre GC/CC, se delinean a continuación los procedimientos específicos que son pertinentes para esta categoría de fuente.

COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES OBTENIDAS MEDIANTE LOS DIFERENTES MÉTODOS

Se pueden hacer comparaciones entre las emisiones estimadas según el método de Nivel 2, basado en la producción de cal, y el método de Nivel 3, basado en las entradas de carbonatos. De manera similar, si para estimar las emisiones se usa el método «de abajo hacia arriba» (es decir, recolección de datos específicos para las plantas), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas mediante datos nacionales o específicos de la planta para la producción de cal (tratamiento «de arriba hacia abajo»). En los casos en los que se utiliza un método híbrido de Nivel 1/2 ó Nivel 2/3 durante un período de transición, se considera como una *buena práctica* estimar las emisiones para todas las instalaciones que utilizan el Nivel más bajo para comparar los resultados del análisis con los resultados derivados del empleo del método híbrido. Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

VERIFICACIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los compiladores del inventario deben confirmar las definiciones correctas de los diferentes tipos de cal producidos en el país. Los compiladores del inventario deben también considerar cuidadosamente las industrias que puedan producir cal no comercial, de modo que garanticen que estos datos han sido incluidos en los datos de actividad para el inventario.

2.3.3.2 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales. A continuación se señalan algunas notas generales que se aplican a la declaración y documentación de las emisiones, así como a la reducción de emisiones provenientes de la producción de cal, seguidas de la información específica que debe ser declarada para cada nivel individual.

- Si un compilador declara bajo la Categoría 2H la recuperación de CO₂ de la refinación del azúcar, del precipitado de carbonato de calcio o del ablandamiento de aguas, debe proporcionar detalles sobre los métodos empleados para calcular las emisiones recuperadas. Tanto las emisiones como las reducciones de emisiones deben declararse por separado; no se considera como una *buena práctica* que se declaren solamente las emisiones netas de la producción de cal. Además, se debe proporcionar información para ilustrar que las reducciones de emisiones por recarbonización se declaran sólo para el año en que ocurre la recarbonización (véase más arriba, 2.3.1).
- Independientemente del método implementado, los compiladores deben documentar los procedimientos empleados para garantizar que tanto la producción de cal comercial como la no comercial han sido declaradas (véase el análisis en la Sección 2.3.1.4, Exhaustividad).

MÉTODO DE NIVEL 1

Desde un punto de vista metodológico, el tratamiento de Nivel 1 es el mismo que el de Nivel 2, salvo que, para estimar los diversos parámetros, admite el uso de valores por defecto en vez de información específica del país. Por lo tanto, la documentación para el Nivel 1 se desprende de la del Nivel 2, indicada a continuación, excepto que se debe indicar claramente dónde se aplican los valores por defecto.

MÉTODO DE NIVEL 2

La documentación de Nivel 2 debe incluir una discusión sobre los tipos de cal producidos en el país (incluida la cal hidratada) y sobre cómo se ha efectuado tal determinación (recolección de datos sobre ventas, recolección de

datos sobre el consumo específico de la planta, etc.) Deben explicarse también los procedimientos empleados para identificar el contenido de CaO y/o en CaO·MgO de la cal, así como los suministros no carbonatados al horno de cal.

MÉTODO DE NIVEL 3

Las declaraciones y la documentación para el Nivel 3 respecto de la producción de cal son los mismos que los del Nivel 3 para la producción de cemento, delineados más arriba, con una diferencia menor. En vez de recolectar información sobre el CKD, deben recolectarse los datos sobre la cantidad y fracción de calcinación alcanzados para el LKD. Toda información relacionada debe ser documentada y declarada; no se considera como una *buena práctica* simplemente declarar las estimaciones finales de las emisiones.

2.4 PRODUCCIÓN DE VIDRIO

2.4.1 Cuestiones metodológicas

En el comercio se utilizan muchas variedades de artículos y de composiciones de vidrio, pero la industria del vidrio puede dividirse en cuatro categorías principales: recipientes, vidrios planos (ventanas), fibras de vidrio y vidrios especiales.

La mayor parte del vidrio comercial se encuentra en las dos primeras categorías constituidas casi enteramente de vidrio de cal sodada, que está compuesto de sílice (SiO_2), sosa (Na_2O) y cal (CaO), con pequeñas cantidades de alúmina (Al_2O_3) y otros álcalis y tierras alcalinas, además de algunos ingredientes menores. La fibra de vidrio para el aislamiento térmico —un componente mayor de la tercera categoría— posee una composición similar. Los fabricantes individuales aplican composiciones propias patentadas, pero son variaciones menores de la composición básica.

Esta categoría de fuente incluye también las emisiones de la producción de lana de vidrio, una categoría de la lana mineral, donde el proceso de producción es similar al de la fabricación del vidrio. El término lana mineral puede emplearse también para referirse a las lanas basadas en rocas naturales o en escorias. Allí donde la producción de lana de roca produzca emisiones, éstas deben declararse bajo la Subcategoría 2A5 del IPPC. Las emisiones relacionadas con la producción de escoria deben declararse en la categoría de fuente metalúrgica pertinente. La refundición de la escoria para producir lana mineral no implica emisiones significativas relacionadas con el proceso y no necesita ser declarada.

Las principales materias primas del vidrio que emiten CO_2 durante el proceso de fundición son: la piedra caliza (CaCO_3), la dolomita $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ y la ceniza de sosa (Na_2CO_3). Estos materiales, allí donde se extraen como carbonatos minerales para ser utilizados en la industria del vidrio, representan una producción primaria de CO_2 y deben incluirse en las estimaciones de emisiones. Los materiales carbonatados producidos a través de la carbonización de un hidróxido no producen emisiones netas de CO_2 y no deben incluirse en las estimaciones de emisiones. Las materias primas menores del vidrio que emiten CO_2 son el carbonato de bario (BaCO_3), la ceniza de hueso ($3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5 + \text{XCaCO}_3$), carbonato de potasio (K_2CO_3) y el carbonato de estroncio (SrCO_3). Además, el carbón pulverizado de antracita y otros materiales orgánicos pueden agregarse para crear condiciones reductoras en el vidrio fundido, que se combinarán con el oxígeno disponible en el fundido de vidrio para producir CO_2 .

La acción de estos carbonatos en la fusión del vidrio constituye una reacción química compleja a altas temperaturas y no debe compararse directamente con la calcinación de carbonatos para producir cal viva o cal de dolomita quemada. Sin embargo, esta fusión (en la región de los 1500°C) tiene los mismos efectos netos desde el punto de vista de las emisiones de CO_2 .

En la práctica, los fabricantes de vidrio no producen vidrio sólo a partir de materias primas, sino que algunos emplean una cierta cantidad de chatarra de vidrio reciclada (o *cullet*, del inglés). La mayoría de las operaciones utilizan la mayor cantidad de *cullet* que se pueda obtener, lo que induce a veces restricciones en los requisitos de calidad del vidrio. La proporción de *cullet* (la fracción de la carga del horno representada por el *cullet*) se sitúa en el intervalo de 0,4 a 0,6 para las aplicaciones en la fabricación de recipientes, que constituye el grueso de la producción de vidrio. Los fabricantes de fibra de vidrio tienden, por lo general, a estar por debajo de este nivel, pero emplearán tanto *cullet* como puedan comprar.

El *cullet* proviene de dos fuentes: la recuperación in situ de vidrios rotos en el proceso u otros desperdicios o retenciones del vidrio y *cullet* exterior a la planta, proveniente de los programas de reciclaje del vidrio o de los servicios de corretaje del *cullet*. Esta segunda fuente es importante en las economías desarrolladas, pero será menor en los países en desarrollo donde la recuperación de objetos de vidrio está menos difundida.

Se ha determinado que la retención de CO₂ disuelto en el vidrio es relativamente insignificante y puede ser omitida para los fines de la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero.

2.4.1.1 Elección del método

MÉTODO DE NIVEL 1

Debe emplearse el método de Nivel 1 (Ecuación 2.10), donde no se disponga de datos sobre el vidrio fabricado por procesamiento de los carbonatos utilizados en la industria del vidrio. En el Nivel 1 se aplica un factor de emisión por defecto y una proporción de *cullet* por defecto a las estadísticas nacionales sobre producción de vidrio. La incertidumbre asociada a este método puede considerarse superior a la incertidumbre asociada a los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3.

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 2.10} \\ &\text{NIVEL 1: EMISIONES BASADAS EN LA PRODUCCIÓN DE VIDRIO} \\ &E_{\text{emisiones de CO}_2} = M_g \cdot EF \cdot (1 - CR) \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de vidrio, toneladas

M_g = masa del vidrio producido, toneladas

EF = factor de emisión por defecto para la fabricación del vidrio, toneladas de CO₂/toneladas de vidrio

CR = proporción de *cullet* para el proceso (promedio nacional o valor por defecto), fracción

MÉTODO DE NIVEL 2

El Nivel 2 es un refinamiento del Nivel 1. En vez de recolectar las estadísticas nacionales sobre la producción total de vidrio, las emisiones se estiman basándose en los distintos procesos de fabricación de vidrio empleados en el país. Tal como se analiza a continuación, los diferentes procesos de fabricación de vidrio (p. ej., vidrio flotado, vidrio de recipientes, fibra de vidrio, etc.) emplean generalmente diferentes tipos y proporciones de materias primas. En el método de Nivel 2 se aplican factores de emisión por defecto para cada proceso de fabricación de vidrio. Sin embargo, la estimación debe corregirse debido al hecho de que una parte del vidrio reciclado (*cullet*) puede suministrarse también al horno (Ecuación 2.11).

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 2.11} \\ &\text{NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL VIDRIO} \\ &E_{\text{emisiones de CO}_2} = \sum_i [M_{g,i} \cdot EF_i \cdot (1 - CR_i)] \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de vidrio, toneladas

M_{g,i} = masa de vidrio fundido de tipo *i* (p. ej., flotado, recipiente, fibra de vidrio, etc.), toneladas

EF_{*i*} = factor de emisión para la fabricación de vidrio del tipo *i*, toneladas de CO₂/toneladas de vidrio fundido

CR_{*i*} = proporción de *cullet* para la fabricación de vidrio del tipo *i*, fracción

MÉTODO DE NIVEL 3

La metodología de Nivel 3 está basada en la contabilización de la entrada de carbonato al horno de fundición de vidrio (Ecuación 2.12).

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 2.12} \\ &\text{NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LAS ENTRADAS DE CARBONATOS} \\ &E_{\text{emisiones de CO}_2} = \sum_i (M_i \cdot EF_i \cdot F_i) \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de vidrio, toneladas

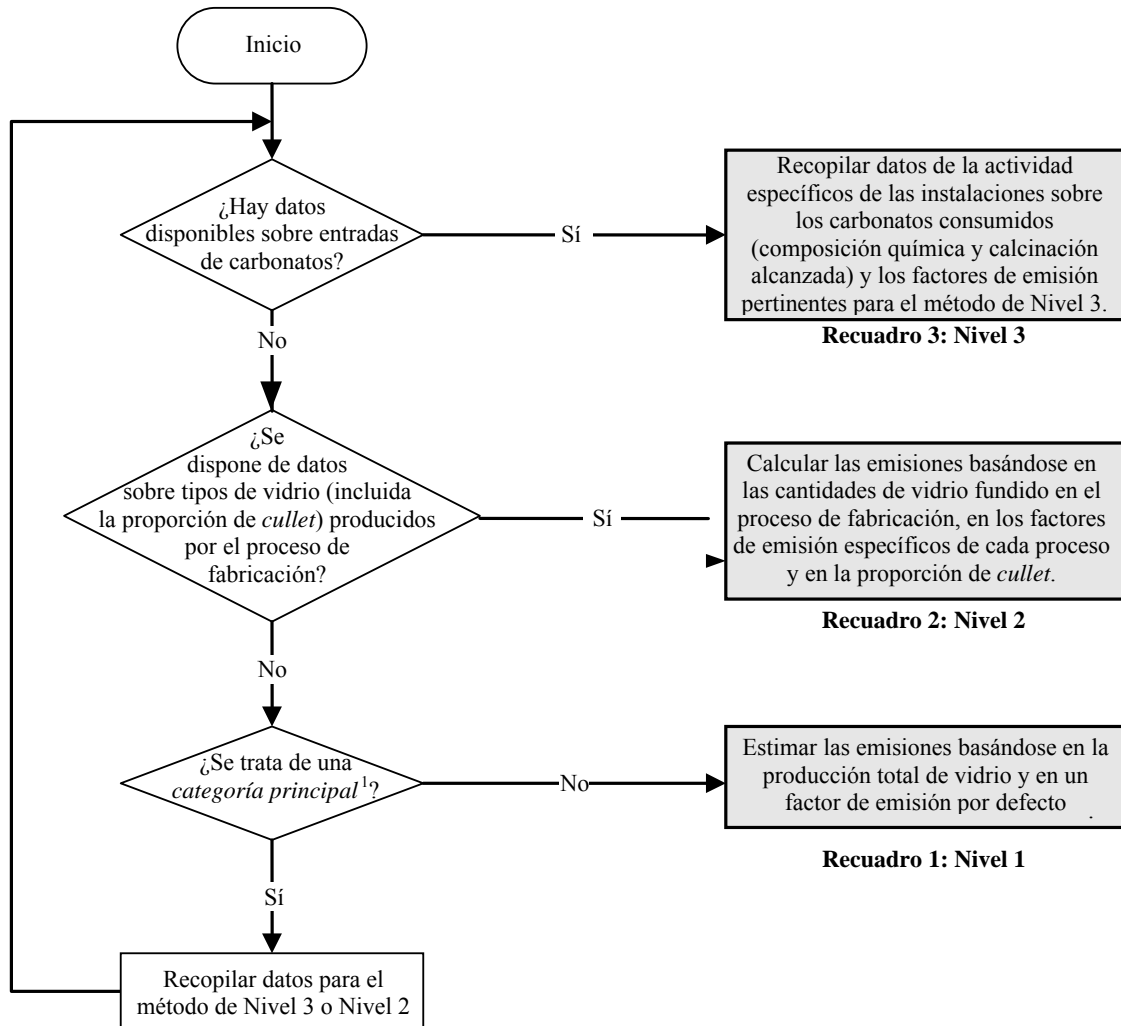
EF_i = factor de emisión para el carbonato en particular i , toneladas de CO_2 / toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

M_i = peso o masa del carbonato i consumido (extraído de la mina), toneladas

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato i , fracción

Cuando se desconozca la fracción de calcinación alcanzada para un carbonato en particular, puede suponerse que la fracción de calcinación es igual a 1,00.

Figura 2.3 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO_2 provenientes de la producción de vidrio**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

2.4.1.2 Elección de los factores de emisión

MÉTODO DE NIVEL 1

En el método de Nivel 1 se aplica un factor de emisión por defecto, basado en una mezcla «típica» de materias primas, a los datos sobre producción nacional de vidrio. Un lote «típico» de cal sodada puede estar compuesto de arena (56,2 por ciento del peso), feldespato (5,3 por ciento), dolomita (9,8 por ciento), piedra caliza (8,6 por ciento) y ceniza de sosa (20,0 por ciento). Basándose en esta composición, una tonelada métrica de materia prima rinde aproximadamente 0,84 toneladas de vidrio y pierde 16,7 por ciento de su peso en materias volátiles, en este caso, casi todo en forma de CO_2 .

ECUACIÓN 2.13**NIVEL 1: FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE VIDRIO**

$$EF = 0,167 / 0,84 = 0,20 \text{ toneladas de CO}_2 / \text{toneladas de vidrio}$$

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 se basa en la aplicación de factores de emisión por defecto y proporciones de *cullet* a los diferentes tipos de vidrio producidos en el país (Cuadro 2.6). Si hay de datos específicos del país o incluso de las plantas, se incita a los países a utilizar estos datos para completar o reemplazar los valores por defecto que se proponen a continuación. En particular, las proporciones de *cullet* pueden variar significativamente tanto dentro de un país como de un país a otro.

Es una *buena práctica* utilizar los valores medianos de los intervalos provistos a menos que se sepa que algunos otros valores dentro del intervalo son más representativos de las circunstancias específicas del país.

CUADRO 2.6		
FACTORES DE EMISIÓN Y PROPORCIONES DE CULLET POR DEFECTO PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE VIDRIO		
Tipo de vidrio	Factor de emisión de CO₂ (Kg de CO₂/Kg de vidrio)	Proporción de cullet (Intervalo típico)
Flotado	0,21	10% - 25%
Recipiente (Flint)	0,21	30% - 60%
Recipiente (ámbar/verde)	0,21	30% - 80%
Fibra de vidrio («E-glass»)	0,19	0% - 15%
Fibra de vidrio (aislamiento)	0,25	10% - 50%
Especial (pantalla de televisión)	0,18	20% - 75%
Especial (tubo de televisión)	0,13	20% - 70%
Especial (vajilla)	0,10	20% - 60%
Especial (laboratorio y/o farmacia)	0,03	30% - 75%
Especial (iluminación)	0,20	40% - 70%
Fuente: Comunicación con Victor Aume (2004)		

MÉTODO DE NIVEL 3

Los factores de emisión del Nivel 3 se basan en el contenido real de CO₂ de los carbonatos consumidos en el horno de fundición (para los cocientes estequiométricos pertinentes, véase el Cuadro 2.1). El método de Nivel 3 requiere la contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes).

2.4.1.3 Elección de los datos de la actividad**MÉTODO DE NIVEL 1**

Los datos de la actividad para el método de Nivel 1 incluyen las estadísticas nacionales sobre producción de vidrio por peso así como una corrección por cantidad de *cullet* utilizado en la producción de vidrio. En el Nivel 1 se supone una proporción de *cullet* por defecto de 50 por ciento y, por lo tanto, para estimar las emisiones nacionales, los datos de nivel nacional sobre la masa de vidrio producida puede multiplicarse por $0,20 \cdot (1 - 0,50) = 0,10$ toneladas de CO₂/toneladas de vidrio. Si se dispone de información específica del país para la proporción promedio anual de *cullet*, se insta a los países a modificar el factor de emisión en consecuencia [es decir, $EF = 0,20 \cdot (1 - \text{proporción de cullet específica del país})$].

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 requiere, por lo menos, la recolección de datos de nivel nacional sobre la cantidad de vidrio que se funde en el proceso de fabricación. Los datos sobre el vidrio se expresan generalmente en unidades disímiles (p. ej., toneladas de vidrio, cantidad de botellas, metros cuadrados de vidrio, etc.), que deben convertirse en toneladas. Donde sea posible, los datos deben recolectarse sobre una base específica por planta y luego agregarse al nivel nacional. Aunque el método de Nivel 2 ofrece factores por defecto para la proporción de *cullet*, si se dispone de datos específicos del país o de las plantas, se insta a los países a recolectarlos.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3, deben recolectarse los datos de actividad de nivel de planta sobre los diferentes tipos de carbonatos consumidos en la producción de vidrio.

2.4.1.4 Exhaustividad

Al recolectar las estimaciones de emisiones para la producción de vidrio, los compiladores del inventario deben considerar una serie de cuestiones relacionadas con la exhaustividad. En primer lugar, que el vidrio se produce a partir de una variedad de materias primas carbonatadas. Cuando las emisiones se estimen basándose en las entradas de carbonatos (Nivel 3), es importante garantizar que todas las especies y fuentes de carbonatos estén incluidas en las estimaciones.

En muchos países, la ceniza de sosa es una entrada importante en la fabricación del vidrio. Se alienta a los compiladores del inventario a garantizar que no haya doble cómputo de emisiones para la ceniza de sosa utilizada en la fabricación del vidrio (que debe declararse bajo la Categoría 2A3, Producción de vidrio) y las emisiones de «Otros usos de la ceniza de sosa», que debe declararse separadamente a continuación. Sin embargo, es importante considerar que puede haber un cierto número de instalaciones más pequeñas (p. ej., de vidrio artesanal o de especialidad), que no son tomadas en cuenta en las estadísticas nacionales. Se debe desplegar esfuerzos para garantizar una cobertura completa de la industria.

2.4.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

El vidrio puede ser una fuente que presente dificultades respecto de la obtención de datos, pues como ya se ha señalado anteriormente, la producción de vidrio se mide en una variedad de unidades. Para desarrollar una serie temporal coherente, es importante que en el Inventario se utilicen las mismas fuentes de datos para todos los años. Para mayor información sobre cómo garantizar la coherencia de la serie temporal, véase el Volumen 1, Capítulo 5.

2.4.2 Evaluación de incertidumbre

2.4.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

De manera similar al caso del cemento y la cal, cuando las emisiones de la producción de vidrio se estiman basándose en las entradas de carbonatos (Nivel 3), la incertidumbre del factor de emisión (1 a 3 por ciento) es relativamente baja pues el factor de emisión depende del cociente estequiométrico. Puede haber algo de incertidumbre (1 por ciento) asociada a la hipótesis de que la calcinación de los carbonatos en las entradas es del 100 por ciento.

Debido a que las emisiones se estiman basándose en la cantidad de vidrio fundido de cada proceso de fabricación y en factores de emisión por defecto, la incertidumbre del Nivel 2 es mayor que la del Nivel 3. Es previsible que los factores de emisión tengan una incertidumbre de +/- 10 por ciento. Tal como se ilustra en el Cuadro 2.6, el intervalo típico para la proporción de *cullet* varía entre los diferentes tipos de vidrio. Para los efectos del análisis de incertidumbre se puede suponer que el «intervalo típico» refleja el intervalo de confianza de 95 por ciento.

La incertidumbre asociada al uso del factor de emisión y de la proporción de *cullet* del Nivel 1 es sustancialmente superior y puede alcanzar el orden de un +/- 60 por ciento.

2.4.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Tal como para la producción de cemento y de cal, bajo el método de Nivel 3, la incertidumbre asociada al pesaje o a las proporciones de las materias primas es aproximadamente del 1 al 3 por ciento. Si bien es posible que

algunas materias primas carbonatadas puedan entrar en la instalación, pero perderse bajo la forma de polvos (es decir, sin ser jamás calcinadas), se supone que esta cantidad es insignificante.

En el Nivel 1 y el Nivel 2, los datos sobre producción de vidrio se miden generalmente con una buena exactitud (± 5 por ciento). Tal como se ha señalado anteriormente, los compiladores del inventario deben ser cautos cuando los datos de la actividad disponibles no estén expresados como masa, sino como unidad (p. ej., la botella) o en área (p. ej., el m^2). Si los datos de la actividad deben ser convertidos en unidades de masa, esto puede generar una incertidumbre adicional.

2.4.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

2.4.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

Si se estiman las emisiones empleando el método de Nivel 3, los resultados pueden compararse con los resultados del método de Nivel 2 para ver si poseen un orden de magnitud similar. Análogamente, si se han estimado las emisiones a partir de datos «de arriba hacia abajo» mediante el método de Nivel 2, pueden compararse estos resultados con los del método más riguroso de Nivel 3 en una pequeña cantidad de instalaciones para ver si los valores por defecto utilizados en el Nivel 2 reflejan las circunstancias nacionales. El método de Nivel 2 descansa en la estimación de emisiones basada en los diferentes tipos de vidrio producidos. Estas estimaciones pueden compararse con los resultados de una auditoría de los diversos proveedores de materias primas para la industria del vidrio. Por ejemplo, pueden compararse las estimaciones nacionales con las estimaciones sobre la cantidad de piedra caliza, de ceniza de sosa y de otros carbonatos que se venden a las industrias de vidrio. Tales datos comerciales pueden obtenerse de cada proveedor o de las asociaciones comerciales.

Una de las fuentes mayores de incertidumbre en la estimación de emisiones (Nivel 1 y Nivel 2) para la producción de vidrio es la proporción de *cullet*. La cantidad de vidrio reciclado utilizado puede variar en las distintas instalaciones de un país y en la misma instalación a través del tiempo. El tema de la proporción de *cullet* se perfila como un buen candidato para una investigación más profunda.

2.4.3.2 Generación de informes y documentación

NIVEL 1

Para el Nivel 1, los datos deben documentarse y declararse para indicar la cantidad total de vidrio producido y el factor de emisión aplicado para estimar las emisiones (incluida la indicación sobre el empleo de una proporción de *cullet* por defecto o específica del país) Debe documentarse el proceso de recolección de los datos de la actividad (es decir, si las estimaciones son nacionales o al nivel de planta) así como deben documentarse todos los cálculos realizados para convertir la producción de vidrio a una unidad común (p. ej., el kg).

NIVEL 2

La documentación de Nivel 2 debe incluir la cantidad de vidrio fundido en cada proceso de fabricación delineado en el Cuadro 2.6, incluido todo cálculo necesario para convertir los diferentes tipos de vidrio a las mismas unidades (p. ej., la conversión de botellas en kilogramos). Deben declararse los factores de emisión por tipo de vidrio y por proporción de *cullet*, indicando si se han utilizado valores por defecto y si los datos fueron recolectados al nivel de planta o al nivel nacional. Es también útil declarar si el *cullet* es de generación interna en la instalación o es un *cullet* de origen posterior al consumo (es decir, *cullet* comprado) Esta información puede ser útil para identificar o verificar las actividades mitigadoras basadas en el reciclado.

NIVEL 3

El inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que puedan reproducirse las etapas del cálculo. Allí donde se implemente el método de Nivel 3, los compiladores del inventario deben documentar las especies de carbonatos consumidos e indicar cómo garantizan que todas las entradas de carbonatos han sido tomadas en cuenta (véase el análisis para el Nivel 3 en la Sección 2.2.3.2).

2.5 OTROS USOS DE CARBONATOS EN LOS PROCESOS

2.5.1 Cuestiones metodológicas

La piedra caliza (CaCO_3), la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y otros carbonatos (p. ej., MgCO_3 y FeCO_3) son materias primas básicas que tienen aplicaciones comerciales en numerosas industrias. Además de las industrias ya analizadas individualmente (producción de cemento, producción de cal y producción de vidrio), los carbonatos también se consumen en la metalurgia (p. ej., el hierro y el acero), en la agricultura, en la construcción y en el control de la contaminación ambiental (p. ej., en los sistemas de desulfuración de gases de combustión por vía húmeda). Tal como se ha señalado en la introducción de este capítulo, la calcinación de los carbonatos a altas temperaturas produce CO_2 (Cuadro 2.1). Nótese que ciertos usos de carbonatos, por ejemplo, el uso de la piedra caliza como agregado, no produce la liberación de CO_2 y, por lo tanto, no necesita ser incluido en el inventario nacional sobre gases de efecto invernadero (véase Cuadro 2.7).

La exposición que sigue proporciona las metodologías generales para estimar las emisiones de CO_2 provenientes del uso de carbonatos en las industrias de los minerales. Sin embargo, estas metodologías son aplicables también allí donde los carbonatos se usan en otras categorías de fuente como fundentes o como agentes de escoriación. Se sugiere a los compiladores del inventario que consideren, en particular, cuatro amplias categorías de fuente: (1) las cerámicas, (2) otros usos de la ceniza de sosa, (3) la producción de magnesia no metalúrgica, y (4) otros usos de los carbonatos.

Es una *buena práctica* declarar las emisiones del consumo de carbonatos en la categoría de fuente donde se consume el carbonato y se emite el CO_2 . De este modo, cuando se usa la piedra caliza para el encalado de suelos, las emisiones deben declararse en la categoría de fuente respectiva del Sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU). Si se usan los carbonatos como fundentes o agentes de escoriación (p. ej., en el hierro y acero, en los productos químicos o en el control de la contaminación medioambiental, etc.) las emisiones deben declararse en la categoría de fuente respectiva donde se consume el carbonato. Tal como se ha discutido anteriormente en la Sección 2.3.1.1, toda la producción comercial y no comercial de cal debe declararse bajo Producción de cal. Las categorías de fuente específicas que se discuten a continuación (cerámicas, otros usos de la ceniza de sosa y producción de magnesia no metalúrgica) deben declararse dentro de la categoría de los minerales. La categoría Otros debe contener estimaciones de emisiones que no entran dentro de ninguna de las grandes categorías presentadas más abajo, en el Cuadro 2.7.

CERÁMICAS

Las cerámicas incluyen la producción de ladrillos y tejas, tuberías de arcilla vitrificada, productos refractarios, productos de arcilla expandida, azulejos y cerámica para el piso, vajillas y ornamentos cerámicos, sanitarios, cerámicas técnicas y abrasivos inorgánicos. Las emisiones relacionadas con los procesos de las cerámicas provienen de la calcinación de los carbonatos contenidos en la arcilla, así como de la inclusión de aditivos. De manera análoga a los procesos de producción del cemento y de la cal, los carbonatos se calientan a altas temperaturas en un horno, lo que produce óxidos y CO_2 . La mayoría de los productos cerámicos se fabrican a partir de uno o más tipos de arcilla (p. ej., esquistos, arcilla refractaria y arcilla plástica). Las materias primas son recogidas y finamente trituradas en operaciones de molturación sucesivas. Las partículas molidas se cuecen luego en un horno para producir un polvo (que puede licuarse). A continuación se agregan aditivos y se le da forma o se moldea, se labra y pule la cerámica en un torno para eliminar rugosidades y lograr las características deseadas. En el caso de las cerámicas tradicionales, éstas se ponen a secar y vidriar antes de cocerlas en el horno. Después del cocido, algunas cerámicas pueden ser sometidas a tratamientos adicionales para obtener la calidad final deseada.

Las emisiones de CO_2 son el resultado de la calcinación de las materias primas (particularmente de la arcilla, de los esquistos, de la piedra caliza, de la dolomita y de la witherita o carbonato de bario y de la piedra caliza como fundentes).

OTROS USOS DE LA CENIZA DE SOSA

La ceniza de sosa es utilizada en una variedad de aplicaciones, incluidas la producción de vidrio, de jabones y de detergentes, la desulfuración de gases de combustión por vía húmeda; los productos químicos; la pulpa y el papel y otros productos de consumo común. Tanto la producción como el consumo de la ceniza de sosa (incluido el carbonato de sodio, Na_2CO_3) producen la liberación de CO_2 . Las emisiones de la producción de ceniza de sosa se declaran en la Industria química, mientras que las emisiones provenientes de su uso se declaran en los respectivos sectores de uso final donde la ceniza de sosa es utilizada. Ya se han tomado en cuenta, más arriba, las emisiones de la ceniza de sosa utilizada en la producción de vidrio. Análogamente, donde se use la ceniza de

sosa en otras categorías de fuente tales como los productos químicos, deben declararse las emisiones en esas categorías de fuente.

PRODUCCIÓN DE MAGNESIA NO METALÚRGICA

En esta categoría de fuente deben incluirse las emisiones de la producción de magnesio (MgO) que no están incluidas en otras categorías. Por ejemplo, si se produce magnesio para usarla como fertilizante, la *buen práctica* es declarar esas emisiones bajo la sección apropiada del Capítulo 3, Emisiones de la industria química.

La magnesita (MgCO₃) es una de las entradas más importantes en la producción de magnesio y en la producción última de magnesio fundido. Existen tres grandes categorías de productos de magnesio: magnesio calcinado, magnesio sinterizado (periclasa) y magnesio fundido. La magnesio calcinado se emplea en muchas aplicaciones agrícolas e industriales (p. ej., suplementos alimenticios para el ganado, fertilizantes, aislamientos eléctricos y desulfuración de gases de combustión por vía húmeda). La magnesio sinterizado se utiliza predominantemente para aplicaciones refractarias, mientras que la magnesio fundido se emplea en los mercados de los productos refractarios y de los aisladores eléctricos.

La magnesio se produce por calcinación del MgCO₃, lo cual produce la liberación de CO₂ (Cuadro 2.1). Generalmente, entre un 96 y un 98 por ciento del CO₂ contenido es liberado en la producción de magnesio calcinado, con cerca del 100 por ciento del CO₂ que se libera durante el calentamiento adicional para producir magnesio sinterizado. La producción de magnesio fundido produce también una liberación de CO₂ cercana al 100 por ciento.

OTROS

Las emisiones pueden resultar de una serie de otras categorías de fuente que no se incluyen en lo anterior. Al asignar las emisiones a esta categoría de fuente, los compiladores del inventario deben tener cuidado de no contabilizar dos veces las emisiones ya registradas en otras categorías de fuente.

2.5.1.1 Elección del método

Existen dos metodologías principales para estimar las emisiones del uso de carbonatos para estas categorías de fuente. En el método de Nivel 1 se supone que sólo la piedra caliza y la dolomita se usan como entradas de carbonatos en la industria y se permite el empleo de una fracción por defecto de piedra caliza en contraposición a la dolomita consumida. El Nivel 2 es igual que el Nivel 1, excepto que la fracción de piedra caliza y de dolomita debe determinarse a partir de información específica del país. El método de Nivel 3 se basa en un análisis de todos los usos de carbonatos que producen emisiones.

Es posible que el Nivel 3 pueda usarse para algunas subcategorías y el método de Nivel 1 y 2 para otras categorías que presentan una disponibilidad limitada de datos. Semejante método híbrido es coherente con las *buenas prácticas*. La selección del método depende de las circunstancias nacionales.

MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 se basa en la Ecuación 2.14.

<p>ECUACIÓN 2.14</p> <p>NIVEL 1: EMISIONES BASADAS EN LA MASA DE LOS CARBONATOS CONSUMIDOS</p> $\text{Emisiones de CO}_2 = M_c \cdot (0,85 EF_{1s} + 0,15 EF_d)$
--

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

M_c = masa del carbonato producido, toneladas

EF_{1s} o EF_d = factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

Se sugiere que los compiladores del inventario garanticen que los datos sobre los carbonatos reflejen carbonatos puros y no las rocas carbonatadas. Si sólo se dispone de datos sobre las rocas carbonatadas, se puede suponer una pureza por defecto del 95 por ciento. Si no se dispone de otra información, para las arcillas se puede suponer un contenido de carbonato por defecto del 10 por ciento ⁴.

⁴ EU-BREF (2005) informa de un intervalo de contenido de carbonatos en las arcillas pertinentes para la industria de las cerámicas que va del 0% hasta más del 30%.

La ceniza de sosa es esencialmente carbonato de sodio, no piedra caliza ni dolomita. Por ello, el método de Nivel 1 para la ceniza de sosa no requiere la fracción por defecto de 85/15 por ciento. Las emisiones se estiman mediante la multiplicación de la cantidad de ceniza de sosa consumida al nivel nacional por el factor de emisión por defecto del carbonato de sodio (véase Cuadro 2.1).

MÉTODO DE NIVEL 2

Bajo el Nivel 2, la cantidad de CO₂ emitido por el uso de la piedra caliza y de la dolomita se estima a partir de una consideración de consumo y de la estequiometría del proceso químico. En el Nivel 2 se usa una ecuación similar a la del Nivel 1, pero el Nivel 2 requiere datos nacionales sobre la cantidad de piedra caliza y de dolomita consumida en el país (Ecuación 2.15). No es una *buena práctica* usar un valor por defecto para asignar la proporción relativa de estos dos carbonatos primarios.

ECUACIÓN 2.15

NIVEL 2: MÉTODO PARA OTROS USOS DE LOS CARBONATOS EN LOS PROCESOS

$$Emisiones\ de\ CO_2 = (M_{ls} \bullet EF_{ls}) + (M_d \bullet EF_d)$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

M_{ls} o M_d = masa de piedra caliza o dolomita respectivamente (consumo), toneladas (Respecto de la pureza, refiérase a la Ecuación anterior 2.14)

EF_{ls} o EF_d = factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita respectivamente, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

EL MÉTODO DE NIVEL 3

La metodología del Nivel 3 es similar al método delineado anteriormente para el cemento, pero no hay necesidad de corregir para el polvo ni para otras entradas de materias primas (Ecuación 2.16). Tal como se ha señalado anteriormente, donde sea que se use este método, es importante que todas las entradas de carbonatos sean consideradas en el análisis.

ECUACIÓN 2.16

NIVEL 3: MÉTODO DE LAS ENTRADAS DE CARBONATO PARA OTROS USOS DE LOS CARBONATOS EN LOS PROCESOS

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i (M_i \bullet EF_i \bullet F_i)$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

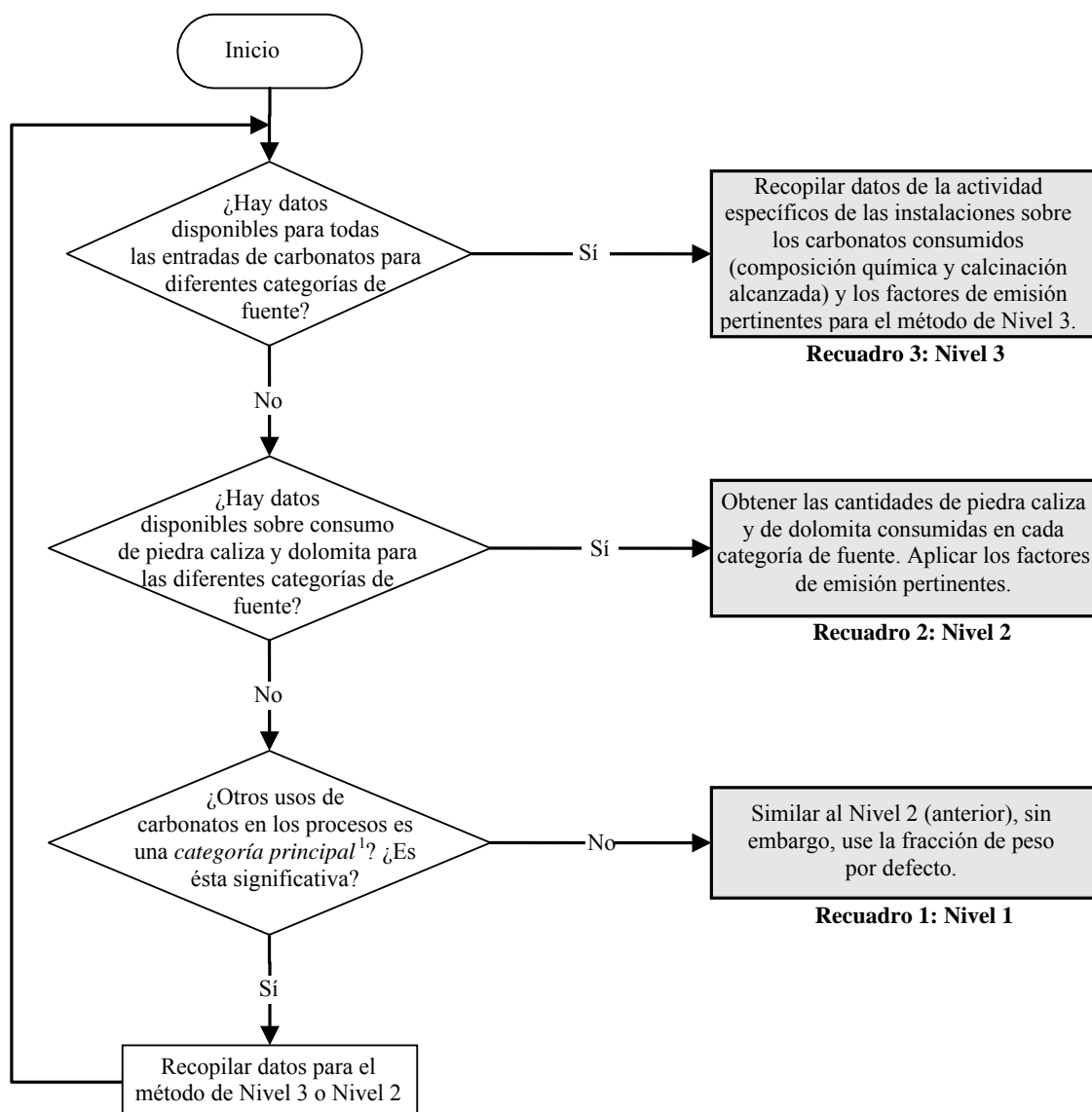
M_i = masa del carbonato *i* consumido, toneladas (refiérase a la Ecuación anterior 2.14, respecto de la pureza)

EF_i factor de emisión para el carbonato *i*, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato particular *i*, fracción Cuando se desconozca la fracción de calcinación alcanzada para un carbonato en particular, puede suponerse que la fracción de calcinación es igual a 1,00.

i = uno de los usos de carbonatos

Figura 2.4 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de otros usos de los carbonatos en los procesos**



Nota:
 1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

2.5.1.2 Elección de los factores de emisión

NIVEL 1 Y NIVEL 2

El factor de emisión para las metodologías de Nivel 1 y de Nivel 2 se basa en la masa de CO₂ liberado por masa de carbonato consumido (véase Cuadro 2.1). La distinción entre el Nivel 1 y el Nivel 2 se da en los datos de actividad.

NIVEL 3

El factor de emisión del Nivel 3 representa el promedio ponderado de los factores de emisión de los carbonatos individuales (véase Cuadro 2.1). El método de Nivel 3 requiere el cómputo completo de los carbonatos (especies y fuentes).

2.5.1.3 Elección de los datos de la actividad

NIVEL 1

En el método de Nivel 1, el compilador del inventario debe recolectar los datos de actividad para el consumo total de carbonatos para usos que producen emisiones (véase Cuadro 2.7 para los usos de carbonatos que generan emisiones). A falta de mejores datos, es coherente con las *buenas prácticas* que los compiladores del inventario supongan que un 85 por ciento de los carbonatos consumidos sean de la piedra caliza y que 15 por ciento sean de la dolomita. Para el uso de la ceniza de sosa, el compilador del inventario debe recolectar datos nacionales o de nivel de planta sobre la cantidad total de ceniza de sosa utilizada. Para las arcillas empleadas en la industria de las cerámicas, el compilador del inventario debe recolectar datos de producción nacionales para las tejas, las tuberías de arcilla vitrificada y productos refractarios y calcular la cantidad de arcilla consumida multiplicando la producción por un factor de pérdidas por defecto de 1,1.

NIVEL 2

Se considera como una *buen práctica* recopilar datos de la actividad para ilustrar la cantidad total de carbonatos consumidos en cada sector de uso final. Si no se dispone de datos específicos para identificar los diferentes carbonatos consumidos en estos sectores de uso final, es una *buen práctica* recolectar datos de actividad de nivel nacional sobre la piedra caliza y la dolomita consumidas. Análogamente al método de Nivel 1, si se desconoce la fracción de calcinación alcanzada, es coherente con las *buenas prácticas* que el compilador del inventario suponga que se alcanza un 100 por ciento de calcinación. Los compiladores del inventario deben ser cautos y no suponer que toda la piedra caliza ni toda la dolomita consumida en el país resultan en la liberación de emisiones de CO₂. Por ejemplo, la piedra caliza y la dolomita se emplean a menudo como agregados en una serie de procesos y este uso de la piedra triturada no genera emisiones (Cuadro 2.7).

NIVEL 3

El método de mayor exactitud consiste en recopilar datos de actividad sobre el consumo de carbonatos por uso final. La *buen práctica* es recopilar datos específicos de la planta sobre los carbonatos consumidos para esa categoría de fuente y para la fracción de calcinación alcanzada para los carbonatos. Se supone que el consumo de carbonatos es igual a la materia prima extraída (o dragada), más la materia prima importada, menos la materia exportada. Cuando se desconozca la fracción de calcinación alcanzada, es coherente con las *buenas prácticas* que el compilador del inventario suponga que se alcanza un 100 por ciento de calcinación. Para el caso del uso de arcilla en la industria de las cerámicas, el compilador del inventario debe recolectar datos sobre el consumo de arcilla para todos los productos cerámicos pertinentes.

2.5.1.4 Exhaustividad

La exhaustividad presenta un particular desafío en relación con las industrias que consumen (y calcinan) carbonatos, pues existe un potencial tanto de estimación insuficiente como de sobreestimación. Como se ha señalado a lo largo de este capítulo, cuando un método se basa en las entradas de carbonatos, se posibilita un potencial de estimación insuficiente de la cantidad total de carbonatos consumidos. En el caso otros usos de carbonatos en los procesos el método de Nivel 3 para debe aplicarse como tal sólo al nivel de planta.

Existe también la posibilidad del cómputo doble. Los compiladores del inventario deben considerar cuidadosamente cómo fueron desarrolladas las estadísticas nacionales sobre la piedra caliza, la dolomita y otros usos de los carbonatos. Por ejemplo, una fuente de datos para la industria del hierro y del acero puede contener las cantidades totales de piedra caliza consumida como fundente, particularmente en la medida de que las emisiones formaban parte del gas de alto horno u otro gas combustible que fueron incluidas en las emisiones de la quema de combustibles del sector pertinente. A un nivel nacional, se deben examinar cuidadosamente las estadísticas sobre piedra caliza para determinar si los datos contienen también el consumo de piedra caliza en la industria del hierro y del acero.

A menudo, las estadísticas nacionales sobre la piedra caliza, la dolomita y otros usos de carbonatos contienen categorías tales como «otros usos no especificados». Los compiladores del inventario deben ser cautos y considerar si estos consumos no han sido contabilizados ya para otras fuentes.

En estas *Directrices* se identifican separadamente dos categorías (Otros usos de la ceniza de sosa y Producción de magnesita no metalúrgica) que son productos intermedios empleados en una variedad de otras categorías de fuente. En particular, la ceniza de sosa se utiliza en una variedad de industrias tales como la producción de vidrio, de jabones y de detergentes. Se sugiere que los compiladores del inventario revisen cuidadosamente las estadísticas para esas categorías de fuente con el fin de garantizar que no ha ocurrido ningún doble cómputo. Por ejemplo, si se usa ceniza de sosa para la producción de vidrio, las emisiones deben declararse en esa categoría. Si

se usa la ceniza de sosa en otra industria, las emisiones deben declararse en la industria pertinente. Si se usa la ceniza de sosa en otra industria de los minerales o donde la información no sea suficiente para determinar dónde ha sido consumida, entonces las emisiones deben declararse en la Categoría 2A4b, Otros usos de la ceniza de sosa.

En el Cuadro 2.7 se realzan algunas preguntas que los compiladores del inventario pueden formularse a sí mismos como una manera de ayudarse en la tarea de garantizar que estas emisiones sean atribuidas apropiadamente, y que no sean ni subestimadas ni sobreestimadas.

CUADRO 2.7		
USOS DE LOS CARBONATOS QUE GENERAN Y QUE NO GENERAN EMISIONES		
¿Dónde se consumen los carbonatos?	¿La fuente genera emisiones?	En el caso afirmativo, ¿dónde deben declararse las emisiones?
<i>Agrícola:</i>		
Piedra caliza agrícola	Sí*	AFOLU: 3C2 Encalado
Granos para aves y piensos minerales	No	
Otros usos agrícolas	No	
<i>Química y metalúrgica:</i>		
Fabricación de cemento	Sí	IPPU: 2A1 Producción de cemento
Fabricación de cal	Sí	IPPU: 2A2 Producción de cal
Sinterización de la dolomita	Sí	IPPU: 2A2 Producción de cal, donde es sinterizada; fuera de la industria de la cal bajo Otros (2A4d).
Piedra fundente	Sí	IPPU: 2C Industria de los metales, industria donde se consume; a menos que sea contabilizada dentro de Energía (para descargas gaseosas combustibles vendidas fuera de la instalación)
Piedra química	Sí**	Categoría de fuente donde se consume
Fabricación del vidrio	Sí	IPPU: 2A3 Producción de vidrio
Eliminación del óxido de azufre	Sí*	Categoría de fuente donde se consume
Fertilizantes	Sí**	IPPU: 2B Industria química
<i>Cerámicas y lanas minerales:</i>		
Cerámicas	Sí	IPPU: Industria de los minerales: 2A4a: Cerámicas
Lanas minerales	Sí	IPPU: Industria de los minerales: 2A3 Producción de vidrio o 2A4d Otros, según el proceso de producción.
<i>Especial:</i>		
Polvo inerte para minas y tratamiento de aguas	Sí*	Categoría de fuente donde se consume
Rellenos o saturadores de asfalto	No	
Agente blanqueador o sustituto	No	
Otros rellenos o saturadores	No	
<i>Construcción:</i>		
Uso como agregado fino o grueso	No	

CUADRO 2.7 (CONTINUACIÓN)		
USOS DE LOS CARBONATOS QUE GENERAN Y QUE NO GENERAN EMISIONES		
Producción	¿La fuente genera emisiones?	En el caso afirmativo, ¿dónde deben declararse las emisiones?
<i>Otros usos varios:</i>		
Piedra refractaria	No	
Neutralización de ácidos	Sí*	Categoría de fuente donde se consume
Productos químicos	No	
Fabricación de papel	No	
Abrasivos	No	
Refinación del azúcar	Sí	IPPU: Las emisiones de la producción de cal en los ingenios azucareros deben declararse bajo 2A2 Producción de cal; todas las demás emisiones en 2A4 Otros usos de carbonatos en los procesos. Las absorciones deben declararse bajo 2H2 Industria de la alimentación y la bebida.
<i>Otros</i>	Sí*, No	Donde sea afirmativo, IPPU: 2A4 Otros usos de carbonatos en los procesos
* Las emisiones resultan de una reacción de acidificación.		
** Las emisiones pueden resultar de la calcinación y/o de la acidificación.		

2.5.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

En esencia, estas *Directrices* tratan del consumo de piedra caliza, de dolomita y de otros usos de los carbonatos de una manera diferente que en los documentos anteriores de *Directrices* del IPPC. Las orientaciones anteriores sugerían que, a excepción del caso de la piedra caliza y de la dolomita consumidas en la producción de cemento, en la producción de cal y en el encalado de suelos agrícolas, todo consumo de piedra caliza y dolomita debía declararse bajo la categoría de fuente Uso de piedra caliza y de dolomita.

En las *Directrices de 2006*, las emisiones de otros usos de los carbonatos en los procesos deben declararse en la categoría de fuente donde se consumen los carbonatos, y como consecuencia, las emisiones quedarán declaradas en el sector donde son emitidas. Este cambio requiere de cálculos para garantizar la coherencia de las series temporales para la categoría de fuente Otros usos de los carbonatos en los procesos en la Industria de los minerales y también en otras categorías de fuente donde se consumen carbonatos.

Hay varios medios que los compiladores del inventario pueden usar para ayudar a garantizar la coherencia de la serie temporal: Es una *buena práctica* que, de acuerdo con el Volumen 1, Capítulo 5, el compilador del inventario consideren lo siguiente:

- Si se dispone de datos para completar el método de Nivel 3 (o del Nivel 2) para todos los años, éste debe aplicarse;
- Si sólo se dispone de datos para algunos años, los años intermedios pueden estimarse por interpolación o extrapolación de las líneas de tendencia;
- Si se dispone de datos de niveles desagregados sobre otros usos de carbonatos en los procesos, pero sólo para el año más reciente, el compilador del inventario puede optar por aplicar la proporción de carbonatos consumidos en cada industria para el año más reciente, a las tendencias de producción de las respectivas industrias, de manera análoga a la del Método sustituto delineado en el Volumen 1, Sección 5.3. Sin embargo, los compiladores del inventario deben ser cautos al utilizar este método y considerar si existen circunstancias nacionales que puedan haber conducido a un uso mayor de fundentes o de agentes de escorificación en algunas industrias durante el periodo considerado.

2.5.2 Evaluación de incertidumbre

2.5.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

En teoría, la incertidumbre asociada al factor de emisión para esta categoría de fuente debería ser relativamente baja, puesto que el factor de emisión corresponde al cociente estequiométrico que refleja el CO₂ liberado durante la calcinación del carbonato. En la práctica, hay incertidumbres debidas, en parte, a las variaciones en la composición química de la piedra caliza y otros carbonatos. Por ejemplo, además del carbonato de calcio, la piedra caliza contiene cantidades más pequeñas de magnesia, sílice y azufre. Suponiendo que los datos de actividad son recolectados correctamente, y por ende que se aplica el factor de emisión correcto, habrá una incertidumbre insignificante asociada al factor de emisión. En los casos en que sólo se disponga de datos sobre la roca carbonatada, puede haber algo de incertidumbre asociada a la hipótesis de una cierta pureza para la fracción de piedra caliza y de dolomita (± 1 a ± 5 por ciento).

2.5.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Las incertidumbres en los datos de la actividad son mayores que las incertidumbres asociadas a los factores de emisión. Al suponer que el consumo de carbonatos se atribuye a los sectores y/o industrias consumidoras apropiadas, la incertidumbre asociada al pesaje o a las proporciones de carbonatos, para toda industria considerada, es de un 1 a un 3 por ciento. La incertidumbre del análisis químico global en relación con el contenido y la identidad de los carbonatos, también es de un 1 a un 3 por ciento. La incertidumbre asociada al empleo de los métodos de Nivel 1 y de Nivel 2, incluida la hipótesis de una repartición de piedra caliza y de dolomita de un 85/15 por ciento, varía según las circunstancias del país.

Los datos de la actividad para el uso de la piedra caliza y de la dolomita pueden ser muy difíciles de recopilar pues existe una variedad de usos en diferentes industrias, algunas de las cuales producen emisiones y otras no. Las estadísticas nacionales pueden incluir una categoría de uso final «otros usos no especificados» (o bien otra categoría similar) y puede resultar difícil atribuir los «otros usos no especificados» al sector de consumo apropiado. Donde no se puedan identificar correctamente todos los usos, aumenta la incertidumbre.

2.5.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

2.5.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES OBTENIDAS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS

Las estimaciones de emisiones derivadas de cualquier Nivel pueden compararse con las de otros Niveles, aun cuando el método del Nivel 3 pueda estar dando cuenta de especies de carbonatos adicionales no incluidas en los análisis de Nivel 1 ni de Nivel 2. Si se supone que la misma fracción de calcinación alcanzada se emplea para todos los Niveles, las emisiones estimadas con los métodos respectivos serán probablemente similares en magnitud, si se considera que la piedra caliza y la dolomita tienden a contribuir con el mayor porcentaje de emisiones para estas fuentes.

VERIFICACIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Dado que la piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos se consumen en una variedad de industrias, puede que haya una cantidad de fuentes de datos diferentes disponibles que contengan información sobre el consumo de carbonatos en las industrias respectivas. Por ejemplo, los datos para el consumo de piedra caliza en varias instalaciones de la industria del hierro y del acero podrían compararse para ver si la cantidad de fundentes utilizados es similar, en proporción a la producción al nivel de las instalaciones.

También, la información específica de la planta sobre el uso de piedra caliza, dolomita y otros carbonatos como fundentes puede compararse con las estadísticas de las asociaciones industriales. Estas estadísticas pueden, a su vez, compararse con las estadísticas de nivel nacional sobre la piedra caliza, la dolomita y otros consumos de carbonatos.

Suele ser útil examinar las tendencias de los datos de la actividad a través del tiempo para ver si se producen grandes fluctuaciones de un año para otro. Los compiladores del inventario deben ser cautos al sacar

conclusiones basadas en los datos de tendencias, pues en estas estadísticas puede haber grandes fluctuaciones entre año y año.

2.5.3.2 Generación de informes y documentación

El inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que puedan reproducirse los pasos para calcularlas. Tal como se ha señalado anteriormente, la consideración más importante que los compiladores del inventario deben tener en mente al declarar las emisiones de otros usos de carbonatos en los procesos es que las emisiones deben ser declaradas allí donde los carbonatos son consumidos.

NIVEL 1 Y NIVEL 2

Se debe proporcionar información sobre la cantidad de piedra caliza y de dolomita consumida por cada industria. Si se desconoce el desglose de los carbonatos consumidos en una industria en particular y se utiliza una atribución por defecto de 85 por ciento de piedra caliza y 15 por ciento de dolomita, esto debe documentarse.

NIVEL 3

La documentación requerida por el método de Nivel 3 es análoga a la de las otras categorías de fuente de este capítulo para las cuales las emisiones se calculan basándose en las entradas de carbonatos.

Referencias

- ASTM (1996). ASTM International. Standard Specification for Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone for Chemical Uses, Designation: C911-96, Table 1.
- ASTM (2004a). ASTM International. Standard Specification for Portland Cement, Designation: C-150-02.
- ASTM (2004b). ASTM International. Standard Specification for Blended Hydraulic Cements: C-595-03.
- Boyd, D. C. and Thompson, D. A. (1980) "Glass", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Volume 11, pp 826-827.
- Boynton, R. S. (1980). Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
- CRC Handbook of Chemistry and Physics (2004). (David R. Lide, Ed in Chief); CRC Press, Boca Raton, FL; Sec. 1, p.12-14
- DIN (1994). Deutsche Industrie Norm. DIN 1164-1 Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen. Edition 1994-10.
- EU-BREF Ceramics (2005). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>)
- Hendriks *et al.* (1998). Proceedings of the 4th International Conference of GHG Control Technologies. August 30-September 2. Interlaken.
- Miller, M. (1999a). US Geological Survey, Calculations based on Boynton, 1980.
- Miller, M. (1999b). U.S. Geological Survey. Calculations based on ASTM, 1996b and Schwarzkopf, 1985.
- Schwarzkopf, F. (1985). Lime Burning Technology (2nd Edition), Table 2, June 1985.
- Van Oss, H. (2005). Personal communication with Hendrik van Oss, January 2005.
- Van Oss, H. and Padovani, A. (2002). Cement Manufacture and the Environment. Part I: Chemistry and Technology. *Journal of Industrial Ecology*. Vol.6, Number 1, page 89-105.
- WBCSD (2005). World Business Council for Sustainable Development The Cement CO₂ Protocol: CO₂ Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. Version 2. June 2005

ANEXO D

MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO DOCUMENTO DE DISEÑO DEL PROYECTO

(Clean Development Mechanism - Project Design Document CDM-PDD)

“Cambio de combustible de carbón a gas natural en la planta industrial de
cementos Atocongo, Cementos Lima, Perú”



**CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM
PROJECT DESIGN DOCUMENT FORM (CDM-PDD)
Version 03 - in effect as of: 28 July 2006**

CONTENTS

- A. General description of project activity
- B. Application of a baseline and monitoring methodology.
- C. Duration of the project activity / crediting period
- D. Environmental impacts
- E. Stakeholders' comments

Annexes

- Annex 1: Contact information on participants in the project activity
- Annex 2: Information regarding public funding
- Annex 3: Baseline information
- Annex 4: Monitoring plan

**SECTION A. General description of project activity****A.1 Title of the project activity:**

Project: **Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru.**

Version: 02.

Date: 16/04/08

A.2. Description of the project activity:

The proposed project “**Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension**” consists in the switching from coal to natural gas in two cements kilns at Atocongo Cement Plant, in Peru. The project considers the installation of natural gas burners in the cement kilns and also contemplates the construction of a natural gas pipeline, from a distribution point located 3.5 km south-west from the Atocongo Cement Plant, and the implementation of a regulation and measurement station at the site in order to get the required supply of natural gas.

The project is being developed, financed and implemented by Cementos Lima S.A., which owns Atocongo Cement Plant (in operation since 1937), being also the largest cement producer and supplier in Peru. By switching the thermal fuel mix currently used to natural gas, the project activity aims to reduce GHG emissions and trade CERs in the context of the Clean Development Mechanism (CDM) of the Kyoto Protocol.

It is estimated that 50% of the GHG emissions in the cement industry derive from the chemical process, and 40% of them from the combustion of fuel. The remaining GHG emissions in cement manufacture comes from the use of electricity and transport.

The production of clinker is the main step in the cement manufacturing process. This occurs at high temperatures (around 1450°C), thus demanding large amounts of fuels. Currently, the Atocongo Cement Plant counts with two rotatory cement kilns (namely, kiln 1 and kiln 2). The fuel mix used in the kilns consists mainly on coal (more than 80%), followed by fuel oil no.6 and petcoke, as well as small quantities of diesel (0,05%).

The main operations for cement production are listed below:

- Limestone mining from reserves.
- Limestone grinding and homogenization.
- Calcination of raw materials in cement kilns (production of clinker).
- Combination of clinker with small amounts of gypsum to produce cement.
- Cement storage and dispatch.

The Project aims for the substitution of the currently used fuel mix by natural gas in both kilns at Atocongo Cement Plant, for at least 70% of the clinker production. In terms of clinker production Kiln 2 represents around 70% of the total clinker production and it started burning natural gas in July 2006, while kiln 1 produces around 30% of the total clinker and will started burning natural gas in June 2007

Figure 1: Plant of Atocongo, Cementos Lima S.A., Lima, Peru.



Natural gas has a lower CO₂ emission factor, on a net calorific value basis (tCO₂/GJ) than any fuel ever used at the project site to feed the kiln's burners (coal, petcoke, and fuel oil N° 6). The implementation of the project will thus generate GHG emission reductions due to the substitution of the currently used fuel-mix by natural gas.

Apart from generating emission reductions, the project will also improve the work environment, in particular the environmental and health conditions at the plant. These improvements are mainly due to the reduction in the airborne particulate levels at the plant resulting from the combustion of coal. These benefits together with the GHG emission reductions of the project meet the sustainable development objectives of the Peruvian Government, as required for getting the Host Country Approval by CONAM (National Environmental Council), which is the Peruvian Designated National Authority.

The project additionality is demonstrated using the latest version of the "Combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate additionality"¹ as shown in section B.5, later in this document. The additionality is based on the following points: i) The project activity undertaken without the CDM is not economically attractive and therefore it does not constitute the baseline scenario. ii) The project activity is not common practice in Peruvian cement sector, and iii) The approval and registration of the project as a CDM activity, and the attendant benefits and incentives derived from the project activity, will alleviate the economic hurdles and other barriers.

The operational lifetime of a typical cement plant is determined by the availability of limestone reserves near the site and, in the case of Atocongo Cement Plant, limestone reserves nearby will be enough for at least another 50 years.

¹ http://cdm.unfccc.int/methodologies/Tools/EB28_repan14_Combined_tool_rev_2.1.pdf



A.3. Project participants:

Name of Party involved (*) ((host) indicates a host Party)	Private and/or public entity(ies) project participants (*) (as applicable)	Kindly indicate if the Party involved wishes to be considered as project participant (Yes/No)
Peru (host)	Cementos Lima S.A	No.

A.4. Technical description of the project activity:

A.4.1. Location of the project activity:

A.4.1.1. Host Party(ies):

Peru.

A.4.1.2. Region/State/Province etc.:

Region: Lima.

A.4.1.3. City/Town/Community etc:

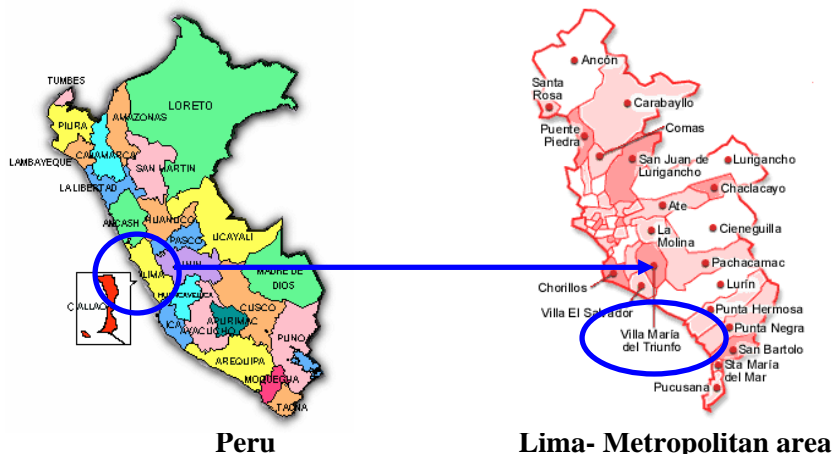
City: Lima

District: Villa María del Triunfo

A.4.1.4. Detail of physical location, including information allowing the unique identification of this project activity (maximum one page):

The natural gas network extension takes place in the district of Villa María del Triunfo, Lima, Peru. The Plant’s address is: 2440 Atocongo Avenue, Villa Maria del Triunfo, Lima, Peru.

Figure 2: Map of Peru showing the location of the Project.



A.4.2. Category(ies) of project activity:

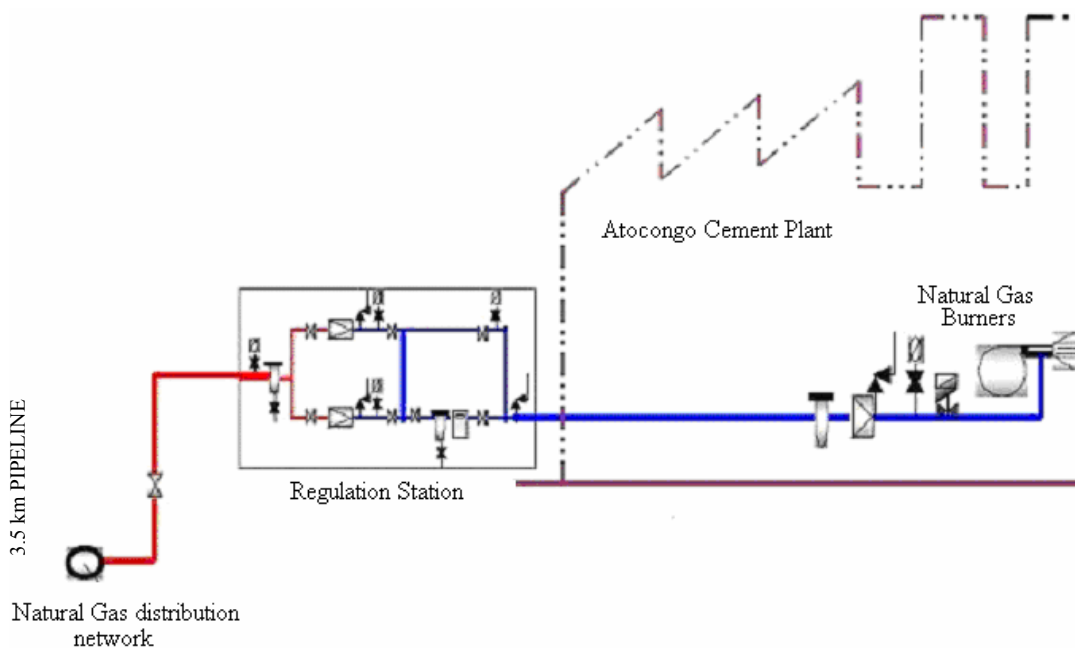
Scope Number: 4.

Sectoral Scope: Manufacturing Industries.

A.4.3. Technology to be employed by the project activity:

The Project considers standard technology for both natural gas burners and extension of the natural gas distribution network, as follows:

- 3.5 km Natural gas pipeline built on 10 and 18 inches steel pipes.
- Regulation and measurement station for an average volume of 3,000 Nm³/h with gas pressure control at 3.0 bar.
- Natural gas burners, manufactured by FLS.

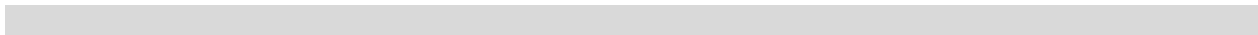
Schematic diagram of the natural gas pipeline, regulation and measurement station and burners

**A.4.4 Estimated amount of emission reductions over the chosen crediting period:****Estimated emission reductions for the 7 years crediting period**

Years	Annual estimation of emission reductions in tonnes of CO₂ e
2008	206 092
2009	196 512
2010	271 268
2011	303 771
2012	303 771
2013	303 771
2014	303 771
Total estimated reductions (tonnes of CO₂ e)	1,888,958
Total number of crediting years	7 (renewable)
Annual average over the crediting period of estimated reductions (tonnes of CO₂ e)	269,851

A.4.5. Public funding of the project activity:

There is no public funding involved in the Project.



**SECTION B. Application of a baseline and monitoring methodology****B.1. Title and reference of the approved baseline and monitoring methodology applied to the project activity:**

The methodology used in this PDD is the **Approved baseline and monitoring methodology ACM0003 “Emissions reduction through partial substitution of fossil fuels with alternative fuels or less carbon intensive fuels in cement manufacture” --- Version 5, EB 33.** Available at <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html>.

B.2 Justification of the choice of the methodology and why it is applicable to the project activity:

Following the applicability conditions stated in ACM0003-ver5, the table below shows how every requirement is met for the application of this methodology to Cementos Lima CDM Project:

ACM0003-ver5 Applicability Conditions	Fulfillment by Cementos Lima CDM Project
<i>Fossil fuel(s) used in cement manufacture are partially replaced by one or more less carbon intensive fossil fuel(s) and/or alternative fuels;</i>	Cementos Lima Fuel Switching Project consists on the fuel switching from a mix of fossil fuels to natural gas in the two cement kilns at Atocongo Plant. Natural gas has never been used before in Atocongo Cement plant and has a lower CO ₂ emission factor on a net calorific value basis (tCO ₂ /GJ) than any fossil fuel type that has been used in the project plant during the last three years prior to the start of the project activity (coal, fuel oil n.6, petcoke and diesel).
<i>A significant investment is required to enable the use of the alternative fuel(s) and/or the less carbon intensive fossil fuel(s);</i>	As shown in section B.5 of this document, the initial investment for the implementation of the project sums up to US\$ 5,407,848 and is estimated to reach US\$ 6,644,911 at the end of the implementation. Operation and fuel costs are also higher when using natural gas.
<i>During the last three years prior to the start of the project activity, no alternative fuels have been used in the project plant;</i>	No alternative fuel has ever been used at Atocongo Cement Plant.
<i>The CO₂ emissions reduction relates to CO₂ emissions generated from fuel combustion only and is unrelated to the CO₂ emissions from decarbonisation of raw materials (i.e. CaCO₃ and MgCO₃ bearing minerals);</i>	The proposed project activity only considers the CO ₂ emissions reduction related to CO ₂ emissions generated from fuel burning requirements and it is unrelated to the CO ₂ emissions from decarbonisation of raw materials.



<p><i>The methodology is applicable only for installed capacity (expressed in tonnes clinker/year) that exists by the time of validation of the project activity;</i></p>	<p>The emission reduction calculations consider only the current installed capacity (expressed in tonnes clinker/year). Any future expansion of production capacity will not be considered as part of this CDM project.</p> <p>Actual installed capacity (by the time of validation) is 3,622,564 tonne clinker/year, 1,230,064 from kiln 1 and 2,392,500 from kiln 2.</p>
---	--

Also, as stated in the methodology, the applicability conditions outlined in the latest available version of the following tools have to be fulfilled as well:

Tools- Applicability conditions to be fulfilled	Fulfillment by Cementos Lima CDM Project
<p>Tool: “Combined tool to identify the baseline scenario and demonstrate additionality”; App. Condition: <i>All potential alternative scenarios to the proposed project activity are available options to project participants.</i></p>	<p>All potential alternative scenarios to the proposed project (as shown in section B.5 of this document) are under the control of project participants.</p>
<p>Tool: “Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site“</p>	<p>N/A. Cementos Lima project will not use alternative fuels.</p>
<p>Tool: “Tool to calculate project or leakage CO₂ emissions from fossil fuel combustion”</p>	<p>N/A. Cementos Lima will not have additional combustion of fossil fuels as a result of the project activity.</p>
<p>Tool: “Tool to calculate project emissions from electricity consumption; App. Condition: <i>This tool is not applicable in cases where captive renewable power generation technologies installed at the project site supply the electricity consumed by the project activity.</i></p>	<p>N/A There will be no additional electricity consumption (see B.6.1)</p>

Finally, the last conditions for the application of this methodology refer to the identified baseline scenario:

Conditions on the baseline scenario	Fulfillment by Cementos Lima CDM Project
--	---



Condition on baseline scenario for the use of fuels: <i>“This methodology is only applicable if F2 (the continuation of the current fuel mix) or F3 (a different fossil fuel mix portfolio) results to be the most plausible baseline scenario for the use of fuels in the cement plant”.</i>	As shown in section B.5 of this document the most plausible baseline scenario for the proposed project is F2, i.e. the continuation of the current fuel mix.
Condition on baseline scenario for the use of alternative fuels.	N/A. Cementos Lima project will not use alternative fuels.

Thus, the Project meets all application conditions provided by the proposed revision of the consolidated baseline methodology ACM0003, and therefore it is appropriate to apply the consolidated baseline methodology ACM0003-Ver.5 to determine the baseline and calculate GHG emission reductions for the Project.

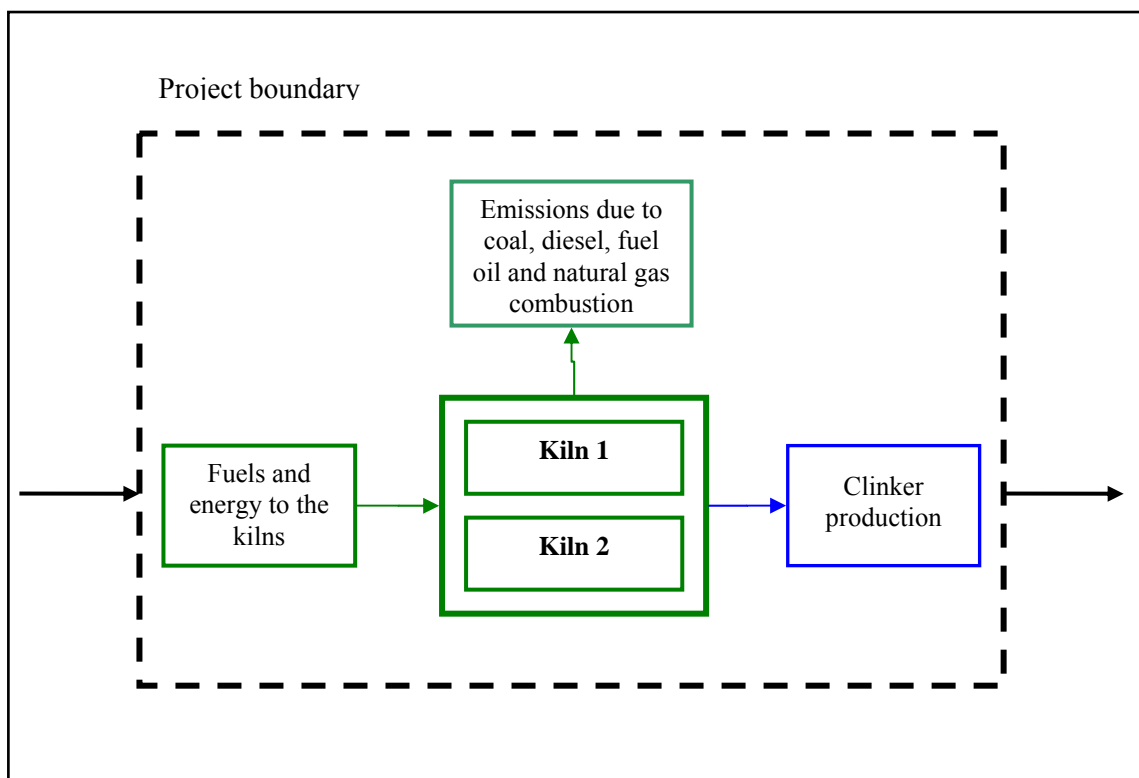
B.3. Description of the sources and gases included in the project boundary

As stated in Methodology ACM0003-Ver. 5, the project boundary covers all production processes related to clinker production. The GHG included for the calculation of the baseline and project emissions are shown in the next table:



	Source	Gas	Included?	Justification/Explanation
Baseline	Coal Use	CO ₂	Yes	Main emission Source
		CH ₄	No	Cement manufacturing process involves high combustion temperatures and long residence times that would limit production of other GHG emissions other than CO ₂ .
		N ₂ O	No	Cement manufacturing process involves high combustion temperatures and long residence times that would limit production of other GHG emissions other than CO ₂ .
	Pet Coke Use	CO ₂	Yes	Main emission Source
		CH ₄	No	Cement manufacturing process involves high combustion temperatures and long residence times that would limit production of other GHG emissions other than CO ₂ .
		N ₂ O	No	Cement manufacturing process involves high combustion temperatures and long residence times that would limit production of other GHG emissions other than CO ₂ .
	Fuel oil Use	CO ₂	Yes	Main emission Source
		CH ₄	No	Cement manufacturing process involves high combustion temperatures and long residence times that would limit production of other GHG emissions other than CO ₂ .
		N ₂ O	No	Cement manufacturing process involves high combustion temperatures and long residence times that would limit production of other GHG emissions other than CO ₂ .
	Diesel Use	CO ₂	Yes	Main emission Source
		CH ₄	No	Cement manufacturing process involves high combustion temperatures and long residence times that would limit production of other GHG emissions other than CO ₂ .
		N ₂ O	No	Cement manufacturing process involves high combustion temperatures and long residence times that would limit production of other GHG emissions other than CO ₂ .
Project Activity	Natural Gas Use	CO ₂	Yes	Main emission Source
		N ₂ O	No	Minor source. Neglected for simplicity.
		CH ₄	No	Minor source. Neglected for simplicity.

In the next diagram the black line shows all the emissions considered for the calculation of the total emission reductions.

Project Boundary Diagram.

For the writing of this PDD, an estimation of the amount of baseline fuel to be displaced will be carried out from Cementos Lima's clinker production projections at Atocongo Plant. During the crediting period the calculation of baseline emissions will be done from the measurement of the amount of natural gas actually used by the project activity.

Regarding leakage, since no LNG or CNG will be used in the Project, leakage emissions (LE_y) only comprise fugitive CH₄ emissions from baseline fuel production and, from natural gas production, transportation and distribution.

B.4. Description of how the baseline scenario is identified and description of the identified baseline scenario:

Combined tool is used in order to identify Baseline scenario as stated in the methodology.

STEP 1. Identification of alternative scenarios***Step 1a. Define alternative scenarios to the proposed CDM project activity***

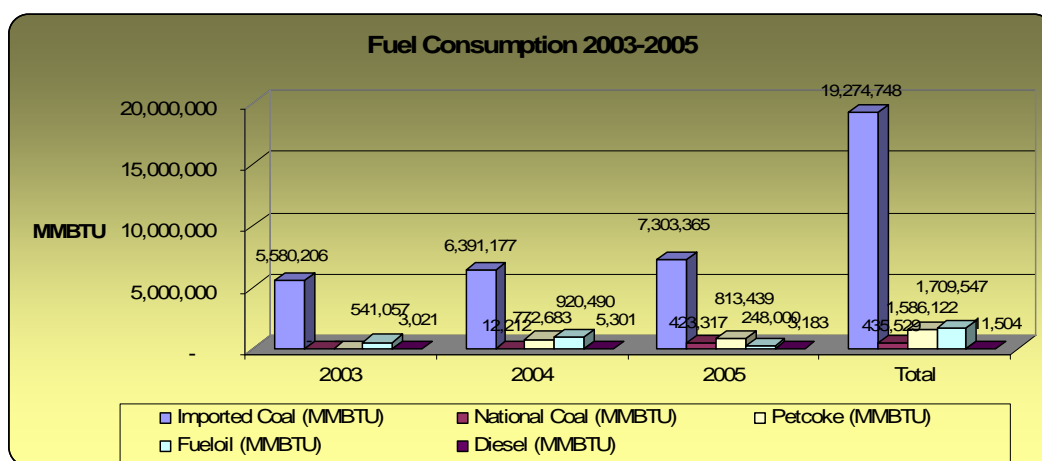
List of plausible alternative scenarios to the project activity:

- F1 (*The proposed project activity not undertaken as a CDM project activity (i.e. use of alternative fuels and/or less carbon intensive fossil fuels)*)

This alternative scenario contemplates the partial substitution of the current fuel mix by natural gas, up to around 70% switch, but not considering the possibility of CERs revenue. The quantity and quality of the cement to be produced using natural gas instead of the currently used fuel mix would continue being the same as in the BAU scenario.

- F2 *(Continuation of current practice, i.e., a scenario in which the company continues cement production using the existing technology, materials and fuel mix).*

This option corresponds to the BAU scenario. Cementos Lima S.A. will carry on its cement production using the same fossil fuel mix as historically used. The traditional mix is composed of national coal, imported coal, pet coke, fuel oil n.6 (known in Peru as “bunker”), and small quantities of diesel. The picture bellow shows the fuel consumption over the last years.



- F3 *(The continuation of using only fossil fuels and no alternative fuels, however, with a different fuel mix portfolio, taking into account relative prices of fuels available. The scenario(s) may be based on one fuel or a different mixes of fuels).*

This alternative scenario would contemplate a change in the proportions of the different fuels currently used, but without considering the use of any alternative fuel. A possibility would be to increment the use of pet coke and/or fuel oil n.6, thus lowering the use of coal at the cement kilns.

- F4 *(The currently used fuels are partially substituted with alternative fuels and/or less carbon intensive fossil fuels other than those used in the CDM project activity and/or any other fuel types, without using the CDM. If relevant, develop different scenarios with different mixes of alternative fuels or less carbon intensive fuels and varying degrees of fuel-switch from traditional to alternative fuels or less carbon intensive fuels).*



Here the alternative scenario could correspond to the use of biomass residues and/or other alternative fuels such as waste oils originated in the mining industry².

F5 *The construction and operation of a new cement plant.*

Sub-step 1b. Consistency with mandatory applicable laws and regulations:

List of alternative scenarios to the project activity that are in compliance with mandatory legislation and regulations taking into account the enforcement in the region or country and EB decisions on national and/or sectoral policies and regulations:

All the previously listed alternatives to the project activity, i.e. F1, F2, F3, F4 and F5, are in compliance with the Peruvian laws and regulations in the region and sector, therefore none of them is eliminated in this step.

² ASOCEM, 2005. “Empleo de aceites usados como combustible alternativo en el horno de cemento” (*Use of waste oils as fuel in cement kilos*)

**STEP 2. Barrier analysis*****Sub-step 2a. Identify barriers that would prevent the implementation of alternative scenarios:***

List of realistic and credible barriers that may prevent alternative scenarios to occur:

Alternative Scenario	Description
F1	<p>Partial substitution of the current fuel mix by natural gas, up to around 70% switch, but not considering the possibility of CERs revenue. The quantity and quality of the cement to be produced using natural gas instead of the currently used fuel mix would continue being the same as in the BAU scenario.</p> <p><i>This scenario is also prevented by Technological barriers</i></p> <p>There is not enough experience in Peru (in the cement industry or other sectors) on natural gas processes or technology. Natural gas is available only since 2004 in Peru and Cementos Lima is the first cement plant in analyzing and implementing a fuel switching project.</p> <p>As a result of this lack of experience in natural gas, there are no qualified personnel on natural gas technology to be hired for working in operation and maintenance of the kilns burning natural gas.</p> <p>The risks associated with the use of this new technology represent higher costs from the training requirements, higher probabilities of maintenance stops or supplier technical assistance, operational failure in pipelines or burners and every other unexpected situation produced by the use of natural gas in the different sub processes of the plant. In unusual or innovator projects there is the possibility that an unexpected situation is not immediately solved even by the supplier.</p> <p>The possibility of getting the project registered as CDM and the sale of CER will help to cover operational and maintenance risks and costs.</p>
F2	<p><i>Continuation of current practice.</i> BAU scenario. Cementos Lima S.A. will carry on its cement production using the same fossil fuel mix as historically used at Atocongo plant.</p> <p><i>This scenario is not prevented by any of the barriers specified above.</i></p>
F3	<p>Change in the proportions of the different fuels currently used, but without considering the use of any alternative fuel.</p> <p>a) Increment the use of pet coke, thus lowering the use of coal at the cement kilns.</p>



	<p><i>This scenario is prevented by technological barriers.</i></p> <p>Petroleum coke is high in sulphur and low in volatile content which pose some environmental and technical problems with its combustion. The use of petcoke is technically limited due to the high sulphur content that can generate the precipitation of acid rain in the kiln and accelerate the deterioration of it. In addition, an increased use of petcoke can obstruct the pre heater of the kiln; this was demonstrated at the Plant in Atocongo. All these technical barriers represent an increase in costs and risks in the operation of the kilns and have prevented and will limit the use of petcoke in the future.</p> <p>b) Increment the use of fuel oil, thus lowering the use of coal at the cement kilns.</p>
F4	<p>Use of biomass residues and/or other alternative fuels such as waste oils originated in the mining industry</p> <p><i>This scenario is prevented by lack of alternative fuels in the region.</i></p> <p>Given the location of the project (arid zone) and the lack of enough biomass to bring the cement kilns to the required temperature for the element process, the implementation of this alternative is not realistic. The use of biomass has complexity for storage, requires high frequency of supply and has high costs for transport by land (sources are located more than 500 km away). For these reasons it is not worthy as a source of profitable energy in a commercial segment (cement production) where the demand for the product depends significantly on its price, and thus, environmental initiatives (such as the use of cleaner fuels) cannot involve higher production costs in comparison with other companies (none of the other cements plants in Peru use Biomass as primary fuel).</p> <p>Biodiesel can not be regarded as a source of energy since its market has begun in February 2008, with the inauguration of the first plant. This fuel, produced on the basis of dedicated crops, has an insured demand, different from the industry, considering the biofuels law, published in 2003, which states that from 2009, the use of biodiesel will be mandatory, at least 2% for cars using diesel 2 and the proportion will increase to 5% in 2011.</p> <p>There is no enough used tires (per year) to replace the coal burned at the Plant of Atocongo. Cementos Lima estimated that for only 12,170 tons of coal used, it is necessary to use at least one million tires. The number of vehicles in the entire Peru in 2004 was 1,305,233, then this alternative is not realistic.</p> <p>In addition, there is no availability of waste oils to be used in the cement kilns of the Atocongo plant. In Peru 90% of this waste oils come from the mining industry, in the south of Peru. Thus the implementation of this alternative is not realistic.</p>
F5	The construction and operation of a new cement plant.



	<p>It is not considered as an alternative scenario considering that it is virtually impossible.</p> <p>The modifications required by the project (burners shifting and construction of the pipeline to natural gas transport) are not comparable to the construction of a new cement plant with similar conditions to Cementos Lima, for which investment costs would exceed more than 100 times the investment in the project.</p>
--	---

Sub-step 2b. Eliminate alternative scenarios which are prevented by the identified barriers:

Outcome of Step 2b:

The only alternative not prevented by any prohibitive barrier is F2.

F2 ***Continuation of current practice:*** This option corresponds to the BAU scenario. Cementos Lima S.A. will carry on its cement production using the same fossil fuel mix as historically used.

Since there is only one alternative scenario that is not prevented by any barrier, and it is not the proposed project activity undertaken without being registered as a CDM project activity, then this alternative scenario is identified as the baseline scenario.

STEP 3. Investment analysis

There is not any kind of regulation or environmental law that forces Cementos Lima to invest in the substitution of fuels (coal by natural gas) at Atocongo Cement Plant. The company complies with all national, regional and local regulations. The Project activity by itself will not bring extra income to the cement company. The use of natural gas in the cement kilns of Atocongo Plant will not increase the plant production capacity nor the quality of the cement produced.

While for continue the BAU scenario the total capital expenditure required is zero (given that this alternative represents a scenario already in place) the total capital expenditure for Alternative F1 is US\$ 6,644,911. From this amount, US\$ 3,756,073 represents the costs to extend the natural gas pipeline by 3.5 km. including the control stations, and US\$ 2,888,838 to install the natural gas burners in both kilns.

Cementos Lima prioritizes for this project the operating costs per MMBTU since the operating costs of the project are even bigger than the investment costs. The average monthly billing with the project is at least \$1,700,000, which is more than \$20,400,000 annually, compared to the \$ 6,644,911 total initial investment. For this reason, the evaluation of operating costs where the tool for approval of the project.

Regarding fuel prices: the natural gas price is also higher than the price of coal: Cementos Lima quotes 2.53 US\$/MMBTU coming from coal (cost at the plant) and estimates around 2.74 US\$/MMBTU for natural gas (cost at the plant). The Energy and Mines Ministry (MINEM³) quotes 3.85 US\$/MMBTU for natural gas at the industrial plant in Lima.

³ <http://www.minem.gob.pe/archivos/dgh/publicaciones/gasnatural/gasindustrial.pdf>



Operational expenditure	Coal US\$/MMBTU	Natural Gas US\$/MMBTU
Electricity consumption due to coal grinding	0.043*	
Additional electricity consumption	-	0.04**
Additional Raw material consumption	-	0.02**
Cost of coal at the plant (FOB price, transport)	2.490*	-
Cost of NG at the plant (exploitation, transport and distribution)	-	2.630*
Depreciation of pipeline and burners	-	0.05**
Total	2.533	2.740

(*) Operational Costs with coal – information from Cementos Lima S.A.

(**) Cementos Lima S.A. “Estudio de la Alimentación de Gas Natural a la Planta de Atocongo, 2004” (Study to supply Natural Gas to Atocongo’s plant, 2004).

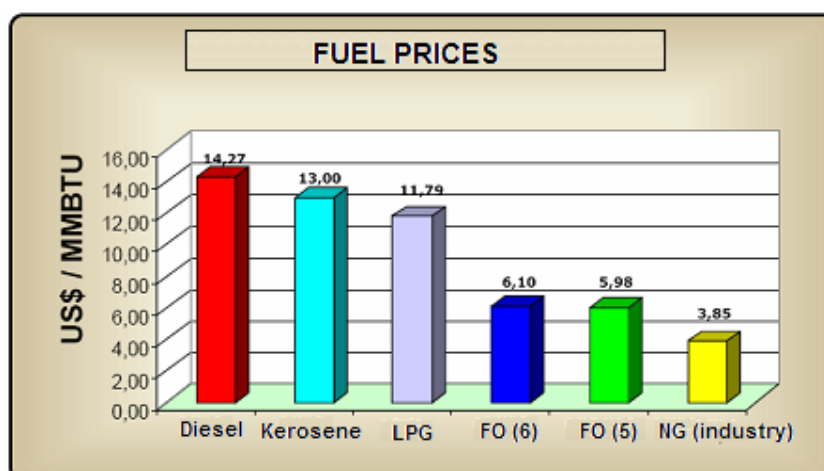
Note: For full information support, see attached document “Data Cementos Lima (2)” (xls).

Summarizing, there were no economical reasons or incentives for the development of a fuel switching project from coal to natural gas. The costs of such a project represent quite significant barriers for the project to be developed without any other revenue (as it can be the sale of CERs).

The main variable in this evaluation is the NG price at the plant which was directly negotiated with the supplier, transporter and distributor (see B.5). A credible sensitivity analysis will be with a variation of around $\pm 5\%$ since negotiations were sustained over a long period and with tree different companies or consortiums⁴. Even with a reduction of 5% in the final NG price the use of coal is more attractive.

To make the project economically indifferent (not taking into account associated risks with the use of NG, or other barriers - see barrier analysis) 7.86% reduction in the NG price at the plant is required. This is not a feasible alternative as explained above.

The use of a higher proportion of fuel oil at the plant is not feasible since its price is higher than coal and natural gas, as it can be seen in the picture below.



⁴ For these conditions, Cementos Lima never expected major variations in the NG prices.



Source: MINEM⁵
OSINERG⁶, the Government Bureau that supervises energy investments, quotes also higher costs for diesel and fuel oil.

The sources and references of the data used are as follows:

Since the starting date of the project (time of the investment decision) was September 21st 2004 which is the date of issuance of the purchase order for the first kiln's burner to F.L SMIDTH INC⁷ the investment analysis valid at that moment is presented in this PDD. All back up information and its sources were presented at the DOE's visit in December 2007 and sent via e-mail in October 2008. The sources and references of the used information are listed below:

1. For The Investment Cost:

a) For the construction of the natural gas pipeline:

- “Accounting records related to the construction of the NG pipeline”. Source: ADI (investment authorization registry) records of Cementos Lima in USD (ADI number 586 for “Supply NG pipeline construction”).
- “Construction of the natural gas pipeline contract with *Gas Natural de Lima y Callao*”. Source: Copy of the Cementos Lima's original contract.

Note: The contract for the natural gas pipeline construction signed with “Gas Natural de Lima y Callao” covers a total amount of USD 3,272,417 from the USD 3,756,073. The balance is related to a number of other construction expenses which are also recorded in ADI # 586.

b) For the new burners' investment:

- “Accounting records related to the supply of burners 1 & 2”. Source: ADI records at Cementos Lima in USD (ADI number 549 for “Use of Natural Gas: Burners kiln 1 and 2”).
- “Burner 1 Purchase Order signed with FL Smidth number 20041163-1”. Source: Copy of the original Purchase Order from Cementos Lima S.A. filed at Cementos Lima. “Burner 2 Purchase Order signed with FL Smidth number 20051122-1”. Source: Copy of the original Purchase Order from Cementos Lima S.A. filed at Cementos Lima.

Note: The first and second Purchase Orders signed with FL SMIDTH (numbers 20041163-1 and 20051122-1, respectively) cover a total of USD 1,369,525 from the USD 2,888,838. The balance is due to a number of other expenses, all related to the installation of the burners, which are also recorded in ADI # 549.

2. For the 2004 operational cost :

⁵ Web page: <http://www.minem.gob.pe/archivos/dgh/publicaciones/gasnatural/gasindustrial.pdf>

⁶ OSINERG: “Organismo Supervisor de la Inversión en Energía”.
<http://www2.osinerg.gob.pe/PreciosReferencia/TarPreciosReferencia.html>

⁷ Purchase Order signed with FL Smidth number 20041163-1 from Cementos Lima S.A. General Accounting Area of Cementos Lima – “Contabilidad General de Cementos Lima”

**a) For NG information:**

- For the Additional electricity consumption → “Study to supply Natural Gas to Atocongo’s plant, 2004” (Estudio de la Alimentación de Gas Natural a la Planta de Atocongo, 2004). Source: POLARIS CONSULTORA S.R.L. (“Polaris Consultant SRL”) page number 3. As established in the Validation Report, DNV confirmed that Polaris is an independent consultant established in Peru and Canada and specialist in Energy Economics Engineering, which had previously provided its services to the Argentinean government and the Aguaytia energy company in Peru.
- For the Additional Raw material consumption → “Study to supply Natural Gas to Atocongo’s plant, 2004” (Estudio de la Alimentación de Gas Natural a la Planta de Atocongo, 2004). Source: POLARIS CONSULTORA S.R.L. (“Polaris Consultant SRL”) page number 3. As established in the Validation Report, DNV confirmed that Polaris is an independent consultant established in Peru and Canada and specialist in Energy Economics Engineering, which had previously provided its services to the Argentinean government and the Aguaytia energy company in Peru.
- For Depreciation of pipeline and burners “Study to supply Natural Gas to Atocongo’s plant, 2004” (Estudio de la Alimentación de Gas Natural a la Planta de Atocongo, 2004). Source: POLARIS CONSULTORA S.R.L. (“Polaris Consultant SRL”) page number 4. As established in the Validation Report, DNV confirmed that Polaris is an independent consultant established in Peru and Canada and specialist in Energy Economics Engineering, which had previously provided its services to the Argentinean government and the Aguaytia energy company in Peru.



- Cost of NG at the plant (wellhead cost + transport + distribution) → The cost of 2.63 US\$/MMBTU used in the first table of Operational expenditure, was based on the ongoing negotiations/discussions between Cementos Lima S.A. and the NG suppliers. According to OSINERGMIN⁸ (the Peruvian regulatory institution in charge of energy and gas), the maximum price for NG (regulated) as at August 2004 was 3.0471 US\$/MMBTU, which is 0.42 US\$/MMBTU higher than the estimation. Furthermore, the estimate was fully and completely validated at the time the agreement was finally reached with the NG suppliers, since the real average cost of NG as invoiced by the NG suppliers was 2.547 US\$/MMBTU, which is only a little lower than the estimated cost and a consequence of the final rounds of negotiation. Source: OSINERGMIN (www.osinerg.gob.pe) and e-mail from OSINERGMIN “OSINERG Price for NG 2004”.

b) For Coal information:

- For the Electricity consumption due to coal grinding:
 - For the Electricity consumption due to coal grinding, in KWh → : “Production Report – Coal section (monthly. 2004)”. Source: Copy of Cementos Lima’s Production Report for each month of 2004, which contains the total electricity consumption for the coal grinding process of both lines.
 - For the Total electricity consumption kWh → “Termoselva electricity consumption report (monthly 2004)”. Source: Copy of the original reports supplied by Termoselva SRL (the electricity supplier) filed at Cementos Lima.
 - For the Total Electricity consumption USD → “Termoselva electricity consumption invoice (monthly 2004)” Source: copy of the original invoices from Termoselva SRL filed at Cementos Lima.
 - For the Tons of coal grinded → “Production report – Coal section (monthly. 2004)”. Source: Copy of the Cementos Lima’s Production Report for each month of 2004 which informs the total tonnage of coal grinded in the process for both lines.
 - For the Coal Weighted Gross Calorific Value MMBTU/T → “Inter-American Coal invoices (monthly 2004)”. Source: Copy of the original Invoices from the coal supplier “Inter-American Coal, N.V.” filed at Cementos Lima.
- For the cost of coal at the plant (FOB price, transport):
 - Tons according to invoices → “Inter-American Coal invoices (monthly 2004)” Source: copies from the original invoices filed at Cementos Lima.
 - FOB unit → “Inter-American Coal invoices (monthly 2004)” Source: copies from the original invoices filed at Cementos Lima. Sea transport unit → “Inter-American Coal invoices (monthly 2004)” Source: copies from the original invoices filed at Cementos Lima. Land transport unit → “Transportes Pay Pay invoices (monthly 2004)” Source: copies from the original invoices supplied by the inland transport company “Transportes Pay Pay SAC” filed at Cementos Lima.
 - For the Coal Weighted Gross Calorific Value MMBTU/T → “Inter-American Coal invoices (monthly 2004)”. Source: Copy of the original Invoices from the coal supplier “Inter-American Coal, N.V.” filed at Cementos Lima.

3. For Natural Gas at the Plant, Real Values for 2006 and 2007:

⁸ At 2004, OSINERGMIN name was only OSINERG



- NG wellhead cost → “Pluspetrol invoices (monthly 2006-2007)” Source: copies from the original invoices of the NG wellhead supplier “Pluspetrol” filed at Cementos Lima.
- Transport → “TGP invoices (monthly 2006-2007)” Invoices - Source: copies from the original invoices of the NG transporter “TGP”-Transportadora del Gas del Peru” filed at Cementos Lima.
- Distribution → “Calidda invoices (monthly 2006-2007)”. Source: copies from the original invoices of the NG distributor “Gas Natural de Lima y Callao - Calidda” filed at Cementos Lima..

Outcome of step 3:

The alternative considered as baseline scenario is NOT the “proposed project activity undertaken without being registered as a CDM project activity” and then the project activity IS additional.

B.5. Description of how the anthropogenic emissions of GHG by sources are reduced below those that would have occurred in the absence of the registered CDM project activity (assessment and demonstration of additionality):
--

The baseline has been identified in the precedent paragraph as: *Continuation of current practice*: This option corresponds to the BAU scenario. Cementos Lima S.A. will carry on its cement production using the same fossil fuel mix as historically used.

If the Project can be successfully registered as a CDM project, the barriers for the implementation of the project activity, as listed in the paragraph above will be alleviated:

- The sale of CERs will help the natural gas to become competitive with coal.
- The potential CDM revenues would allow Cementos Lima S.A. to get part of the investments costs back, from a project that would bring benefits to the local and global environment.
- There would be enough budget for the hiring and training of specialized workers and personnel, as well as mitigate the losses that such a quick change in technology will bring about.



STEP 4. Common practice analysis

According to the Official National GHG Inventory of Peru⁹ performed during the period 2003 – 2005 with base year 2000: “the common practice in the Cement Industry of Peru is to use coal”. All the cement plants in Peru burn coal in their cements kilns, together with small quantities of fuel oil. The basic difference between them is the type of coal used. Now, due to the incentive of the Clean Development Mechanism (CDM), Cementos Lima is making a difference: Atocongo will be the first cement plant that switches from coal to natural gas in Peru.

The current tendency in Peruvian cement industry is the use of low cost fuels in the kilns, as coal. The use of the mix of fuels used at the plant is less expensive than natural gas per energy unit in Peru.

As this Step is satisfied and similar activities cannot be observed, then the proposed project activity is found additional.

Is important to mention that this switching fuel project activity has been a portfolio project for Cementos Lima since 1997, when Shell and Mobil contacted Cementos Lima and offered the use of NG. The price at the time was not competitive with the price of coal, which was the main fuel used in the kiln burners and the project was not approved. Soon after, Shell and Mobil decided not to continue with the NG extraction project and all negotiations stopped. At 2000 Pluspetrol of Argentina took responsibility for the natural gas extraction, consortium TGP for the transportation of the natural gas to the Lima market and consortium GNLC (now Calidda) for the distribution of the natural gas within the Lima market. Natural Gas conversations started again with Cementos Lima around 2002 but as happened years earlier, the natural gas price was still far from being competitive with the price of coal.

At that time Cementos Lima started the evaluation of alternative incomes for the project and found the CDM mechanism as a potential way to make the natural gas conversion project feasible. At the time the information available was very sketchy and limited. First meetings were with the World Bank and the IFC. Then meetings were sustained with MGM International, Deuman, CO2 Solutions, Finanzas Ambientales, CAEMA-Natsource and other CDM consultants. Initial CER price offers were not enough to make the project feasible.

This situation changed in 2004, when price of CERs and NG and market information was sufficient to make the project feasible. At this time Cementos Lima started the implementation of the project activity by buying a new kiln burner and then constructing the 3.5 km gas pipeline. During this time Cementos Lima evaluated which CDM consultant to hire (reducing risk associated). At that moment the CDM cycle schedules were shorter and the difficulties and delays faced in order to register the present project activity were unknown.

DNV's validation of the project activity started in May 2006 when a first version of the PDD applying AM0008 was submitted for validation and published for comments by Parties, stakeholders and NGOs (May/June 2006). A revised PDD applying ACM 0009 version 2 was re-published in July 2006; the initial validation of this PDD identified a deviation from ACM0009, however in December 2006 the CDM Executive Board did not rule on the request but declined to approve the submission based on another argument (not clarified to date), and the project participant eventually applied ACM0003 after

⁹ Source: National GHG Inventory 2000 base year. National Environmental Council (CONAM) 2005.



having requested a revision of ACM0003 that was approved in July 2007. The third PDD was presented for public comments in October 2007.

B.6. Emission reductions:**B.6.1. Explanation of methodological choices:**

Fuel switching, from coal or petroleum fuels to natural gas, will result in GHG emission reductions since less GHG emissions are involved when burning natural gas. The project will reduce CO₂ emissions by partially replacing the currently used thermal fuels in both cement kilns at Atocongo Plant by natural gas.

Calculation of project emissions

Project emissions include emissions from the use of natural gas (the only less carbon intensive fossil fuel to be used in the project plant, PE_{NG,y}, where NG stands for Natural Gas)

Following the methodology, and taking into account that:

- No alternative fuels will be used in the project activity.
- No additional fossil fuel consumption will be used as a result of the project activity (PE_{FC,y})
- No additional electricity consumption is considered. The additional electricity consumption would have been generated as a result of the higher energy needed for the induced draft fans to extract the higher volume of gases produced at each kiln. However, Cementos Lima decision has been not to buy new exhausters with bigger capacity because is not economically feasible. Instead, Cementos Lima considers that is economically more profitable to reduce the clinker production to adequate the process to the capacity of the already existing exhausters. This efficiency reduction in the clinker production is already considered in the Penalty Calculations as establish in ACM0003 v5.

Project emissions (PE) are calculated as follows:

$$PE_y = PE_{NG,y}$$

Where:

PE_y = Project emissions during the year y (tCO₂e)

PE_{NG,y} = Project emissions from combustion of Natural Gas (less carbon intensive fossil fuel) in the project plant in year y (tCO₂e).

Project emissions from combustion of Natural Gas in the project plant (PE_{NG,y}).

Project emissions from the use of Natural Gas (less carbon intensive fossil fuel) in the Project plant are calculated as follows:



$$PE_{NG,y} = FC_{PJ,NG,y} \times NCV_{NG,y} \times EF_{CO_2,NG,y}$$

With:

- $PE_{NG,y}$ = Project emissions from combustion of Natural Gas (less carbon intensive fossil fuel) in the project plant in year y (tCO₂e).
- $FC_{PJ,NG,y}$ = Quantity of natural gas used in the project plant in year y (tonne)
- $NCV_{NG,y}$ = Net calorific value of the natural gas used in year y (GJ/tonne)
- $EF_{CO_2,NG,y}$ = Carbon dioxide emissions factor for the natural gas used in year y (tCO₂/GJ)

Calculation of Baseline emissions

Considering that there will not be alternative fuels used by the project activity, CH₄ emissions from preventing disposal or uncontrolled burning of biomass residues are not considered here, and Baseline Emissions are calculated as follows:

$$BE_y = BE_{FF,y}$$

Where:

- BE_y = Baseline emissions in year y (tCO₂)
- $BE_{FF,y}$ = Baseline emission from fossil fuels displaced by less carbon intensive fossil fuels in year y (tCO₂)

Step 1: Estimation of the project specific “fuel penalty”

This project specific fuel penalty (FP_y) is determined as follows:

$$FP_y = P_{clinker,y} \times (SEC_{clinker,PJ,y} - SEC_{clinker,BL})$$

Where:

- FP_y = Fuel penalty in year y (GJ)
- $P_{clinker,y}$ = Production of clinker in year y (tonnes)
- $SEC_{clinker,PJ,y}$ = Specific energy consumption of the project plant in year y (GJ/t clinker)
- $SEC_{clinker,BL}$ = Specific energy consumption of the project plant in the absence of the project activity (GJ/t clinker)

Considering that the fuels to be used in the project activity are: coal (national (NC) and imported (IC)), fuel oil (FO), Diesel (D) and natural gas (NG), then:



$$SEC_{clinker,PJ,y} = \frac{\{(FC_{PJ,IC,y} \times NCV_{IC,y}) + (FC_{PJ,NC,y} \times NCV_{NC,y}) + (FC_{PJ,FO,y} \times NCV_{FO,y}) + (FC_{PJ,PC,y} \times NCV_{PC,y}) + (FC_{PJ,NG,y} \times NCV_{NG,y}) + (FC_{PJ,D,y} \times NCV_{D,y})\}}{P_{clinker,y}}$$

And:

$$SEC_{clinker,BL} = MIN \left[\frac{HG_x}{P_{clinker,x}} ; \frac{HG_{x-1}}{P_{clinker,x-1}} ; \frac{HG_{x-2}}{P_{clinker,x-2}} \right]$$

Where:

$$HG_x = \sum_i FC_{i,x} \times NCV_i$$

Where:

$SEC_{clinker,BL}$ = Specific energy consumption of the project plant in the absence of the project activity (GJ/t clinker)

HG_x = Heat generated from fuel combustion in the project plant in the historical year x

$FC_{i,x}$ = Quantity of fossil fuel type i used in the project plant in year x (tonnes)

$FC_{PJ,i,y}$ = Quantity of fossil fuel type i used in the project plant in year y (tonnes)

NCV_i = Net calorific value of the fossil fuel type i (GJ/tonne) in years x

$NCV_{i,y}$ = Net calorific value of the fossil fuel type i (GJ/tonne) in year y

$P_{clinker,x}$ = Production of clinker in year x (tonnes)

$P_{clinker,y}$ = Production of clinker in year y (tonnes)

x = Year prior to the start of the project activity

i = Fossil fuel types used in the project plant in the last three years prior to the start of the project activity (Imported Coal (IC), National Coal (NC), Petcoke (PC), Fuel Oil (FO) and Diesel (D), as defined above).

Then, the calculations are carried out for years $y = 2005, 2004$ and 2003 . These years were chosen considering that the project activity is under validation since year 2006.

The types of fuels included for each year are consistent with the fuels used in each year (e.g. for year 2003 Petcoke was not consumed at the cement kilns, hence it is not included in the calculations).

Formulas used for each year are:

Year 2005:

$$HG_{2005} = (FC_{IC,2005} \times NCV_{IC,2005}) + (FC_{NC,2005} \times NCV_{NC,2005}) + (FC_{PC,2005} \times NCV_{PC,2005}) + (FC_{FO,2005} \times NCV_{FO,2005}) + (FC_{D,2005} \times NCV_{D,2005})$$



Year 2004:

$$HG_{2004} = (FC_{IC,2004} \times NCV_{IC,2004}) + (FC_{NC,2005} \times NCV_{NC,2004}) + (FC_{PC,2004} \times NCV_{PC,2004}) + (FC_{FO,2004} \times NCV_{FO,2004}) + (FC_{D,2004} \times NCV_{D,2004})$$

Year 2003:

$$HG_{2003} = (FC_{IC,2003} \times NCV_{IC,2003}) + (FC_{NC,2003} \times NCV_{NC,2003}) + (FC_{PC,2003} \times NCV_{PC,2003}) + (FC_{FO,2003} \times NCV_{FO,2003}) + (FC_{D,2003} \times NCV_{D,2003})$$

Finally, values for $P_{clinker}$ were fixed as presented in section B.6.2.

Step 2: Baseline emissions calculation from the fossil fuels displaced by the less carbon intensive fuel (Natural Gas).

The only less carbon intensive fuel type to be consumed at the project site will be natural gas. No alternative fuel will be used, and then following the methodology:

$$BE_{FF,y} = [(FC_{PJ,NG,y} \times NCV_{NG,y}) - FP_y] \times EF_{CO_2,BL,y}$$

Where:

$BE_{FF,y}$ = Baseline emission from fossil fuels displaced by natural gas in year y (tCO₂)

$FC_{PJ,NG,y}$ = Quantity of natural gas used in the project plant in year y (tonnes)

$NCV_{NG,y}$ = Net calorific value of natural gas in year y (GJ/tonne)

FP_y = Fuel penalty in year y (GJ)

$EF_{CO_2,BL,y}$ = Carbon dioxide emissions factor for the fossil fuels displaced by the use of natural gas in the project plant in year y (tCO₂/GJ)

The baseline emissions factor ($EF_{CO_2,BL,y}$) is estimated as the lowest of the three given in the methodology. The emission factor calculated as option C (equation (15) of the methodology) is not considered here, because the most likely baseline scenario has been determined to be F2 (and not F3). Therefore in our case, every year “y” the lowest of the following options has to be chosen for the calculation of $EF_{CO_2,BL,y}$:

Option A: The weighted average CO₂ emission factor for the fossil fuels consumed during 2003, 2004 and 2005, calculated as follows:

$$EF_{CO_2,BL,y} = \frac{\sum (FC_{i,2003} + FC_{i,2004} + FC_{i,2005}) \times NCV_i \times EF_{CO_2,FF,i}}{\sum (FC_{i,2003} + FC_{i,2004} + FC_{i,2005}) \times NCV_i}$$



Where:

$EF_{CO_2,BL,y}$ = Carbon dioxide emissions factor for the fossil fuels displaced by the use of less carbon intensive fossil fuel (natural gas) in the project plant in year y (tCO₂/GJ)

$FC_{i,x}$ = Quantity of fossil fuels (imported coal, national coal, petcoke, fuel oil and diesel) used in the project plant in year x (tonnes)

NCV_i = Net calorific value of the fossil fuels (imported coal, national coal, petcoke, fuel oil and diesel) (GJ/tonne)

$EF_{CO_2,FF,i}$ = CO₂ emission factor for fossil fuels (imported coal, national coal, petcoke, fuel oil and diesel) (tCO₂/GJ)

i = Fossil fuel types used in the project plant in the last three years prior to the start of the project activity (imported coal, national coal, petcoke, fuel oil and diesel).

Note that the NCV value to be used is the weighted average for years 2003, 2004 and 2005 considering fuel consumptions for those years. Furthermore for the CO₂ emission factor for each fossil fuel, the lower limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided by IPCC 2006 must be used.

Option B: The weighted average annual CO₂ emission factor of the fossil fuels that are not less carbon intensive fossil fuels and that are used in the project plant in year y, calculated as follows:

$$EF_{CO_2,BL,y} = \frac{\sum FC_{PJ,i,y} \times NCV_{i,y} \times EF_{CO_2,FF,i,y}}{\sum FC_{PJ,i,y} \times NCV_i}$$

Where:

$EF_{CO_2,BL,y}$ = Carbon dioxide emissions factor for the fossil fuels displaced by the use of less carbon intensive fossil fuel (natural gas) in the project plant in year y (tCO₂/GJ)

$FC_{PJ,i,y}$ = Quantity of fossil fuel type i fired in the project plant in year y (tonnes)

$NCV_{i,y}$ = Net calorific value of the fossil fuel type i in year y (GJ/tonne)

$EF_{CO_2,FF,i,y}$ = Carbon dioxide emission factor for fossil fuel type i in year y (tCO₂/GJ)

i = Fossil fuel types used in the project plant in year y that are not less carbon intensive fossil fuel types

Calculation of Leakage emissions



The proposed project activity will not use any biomass residues, and therefore Leakage emissions (LE_y) only comprise fugitive CH₄ emissions from mining of coal and, and from natural gas production, transportation and distribution

$$LE_y = LE_{FF,upstream,y}$$

Where:

LE_y = Leakage emissions during the year y (t CO₂e)

$LE_{FF,upstream,y}$ = Upstream leakage emissions from fossil fuel used in year y (t CO₂e)

Calculation of upstream leakage emissions from fossil fuel use

Upstream leakage emission from fossil fuel use may result from fuel extraction, processing, liquefaction, transportation, re-gasification and distribution of fossil fuels outside of the project boundary. This includes mainly fugitive CH₄ emissions and CO₂ emissions from associated fuel combustion and flaring. This project activity will not use LNG, and therefore:

$$LE_{FF,upstream,y} = LE_{CH_4,y}$$

And:

$$LE_{CH_4,y} = \left[(FC_{PJ,NG,y} * NCV_{NG,y} * EF_{NG,upstream,CH_4}) - \sum_{i=IC,NC,PC,FO,D} FC_{BL,i,y} \cdot NCV_{i,y} \cdot EF_{i,upstream,CH_4} \right] \cdot GWP_{CH_4}$$

Where:

LE_{y,CH_4} = Leakage emissions due to upstream fugitive CH₄ emissions in the year y in tCO₂e.

$FC_{PJ,NG,y}$ = Quantity of natural gas combusted in Atocongo Cement Plant during the year y (tonne)

$NCV_{NG,y}$ = Net calorific value of the natural gas combusted during the year y (GJ/tonne)

$EF_{NG,upstream,CH_4}$ = Emission factor for upstream fugitive methane emissions from production, transportation and distribution of natural gas (tCH₄/GJ)

$i=IC,NC,PC,FO,D$ = Baseline fossil fuel type: Imported Coal, National Coal, Petcoke, Fuel Oil and Diesel respectively

$FC_{BL,i,y}$ = Quantity of fossil fuel type i displaced in the project plant as a result of the project activity in year y (tonne)

$NCV_{i,y}$ = Net calorific value of fossil fuel type i in year y (GJ/tonne)



$EF_{i,upstream,CH_4}$ = Emission factor for upstream fugitive methane emissions from production, transportation and distribution of fossil fuel type i (t CH₄ / GJ)

GWP_{CH_4} = Global warming potential of methane valid for the relevant commitment period.

The quantity of fossil fuel type i displaced in the project plant as a result of the project activity in year y ($FC_{BL,i,y}$) will be determined consistently with the determination of the baseline CO₂ emission factor ($EF_{CO_2,BL,y}$), and then, for every year y $EF_{CO_2,BL,y}$ will be estimated as the lowest between the two options given before (options A and B in the methodology). Once the lowest value for $EF_{CO_2,BL,y}$ has been determined, $FC_{BL,i,y}$ will be calculated using the corresponding values for the Share of fuels ($S_{i,y}$):

$$FC_{BL,IC,y} \cdot NCV_{IC,y} = S_{IC,y} \cdot \sum FC_{PJ,NG,y} \cdot NCV_{NG,y}$$

$$FC_{BL,NC,y} \cdot NCV_{NC,y} = S_{NC,y} \cdot \sum FC_{PJ,NG,y} \cdot NCV_{NG,y}$$

$$FC_{BL,PC,y} \cdot NCV_{PC,y} = S_{PK,y} \cdot \sum FC_{PJ,NG,y} \cdot NCV_{NG,y}$$

$$FC_{BL,FO,y} \cdot NCV_{FO,y} = S_{FO,y} \cdot \sum FC_{PJ,NG,y} \cdot NCV_{NG,y}$$

$$FC_{BL,D,y} \cdot NCV_{D,y} = S_{D,y} \cdot \sum FC_{PJ,NG,y} \cdot NCV_{NG,y}$$

Where:

$i=IC,NC,PC,FO,D$ = Baseline fossil fuel type: Imported Coal, National Coal, Petcoke, Fuel Oil and Diesel respectively.

$FC_{BL,i,y}$ = Quantity of fossil fuel type i displaced in the project plant as a result of the project activity in year y (tonne).

$NCV_{i,y}$ = Net calorific value of fossil fuel type i in year y (GJ/tonne).

$S_{i,y}$ = Share of fossil fuel type i (on an energy basis) in the fossil fuel mix that is displaced in the project plant as a result of the use of natural gas in the project activity, determined consistently with the determination of $EF_{CO_2,BL,y}$.

$FC_{PJ,NG,y}$ = Quantity of natural gas used in the project plant in year y (tonne).

$NCV_{NG,y}$ = Net calorific value of natural gas in year y (GJ/tonne).

Calculation of Emission Reductions

Finally, total **emission reductions** are given by the following formula:



$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y$$

B.6.2. Data and parameters that are available at validation:

Data / Parameter:	Total	Consumption				
	year	Imported Coal (tonne)	National Coal (tonne)	Petcoke (tonne)	Fuel oil (tonne)	Diesel (tonne)
	2003	FC _{IC,2003}	FC _{NC,2003}	FC _{PC,2003}	FC _{FO,2003}	FC _{D,2003}
	2004	FC _{IC,2004}	FC _{NC,2004}	FC _{PC,2004}	FC _{FO,2004}	FC _{D,2004}
	2005	FC _{IC,2005}	FC _{NC,2005}	FC _{PC,2005}	FC _{FO,2005}	FC _{D,2005}
Data unit:	Tonnes					
Description:	Quantity of fossil fuels used in the project plant in years 2005, 2004 and 2003.					
Source of data used:	Cementos Lima's fuel consumption data records.					
Value applied:	Total	Consumption				
	year	Imported Coal (tonne)	National Coal (tonne)	Petcoke (tonne)	Fuel oil (tonne)	Diesel (tonne)
	2003	185,987	0	0	12,885	69
	2004	203,184	536	24,659	21,921	121
	2005	236,710	18,575	25,959	5,906	73
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Data obtained from Cementos Lima's production Records.					
Any comment:	Data used for SEC _{clinker,BL} calculation, fixed for the crediting periods.					

Data / Parameter:	P_{clinker,2005}, P_{clinker,2004}, P_{clinker,2003}
Data unit:	tonnes



Description:	Production of clinker in years 2005, 2004 and 2003								
Source of data used:	Cementos Lima's Internal Records								
Value applied:	Clinker production for period 2003-2005. <table border="1" data-bbox="534 465 850 645"> <thead> <tr> <th>year</th> <th>Clinker (tonne)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2003</td> <td>1,922,863</td> </tr> <tr> <td>2004</td> <td>2,299,164</td> </tr> <tr> <td>2005</td> <td>2,575,905</td> </tr> </tbody> </table>	year	Clinker (tonne)	2003	1,922,863	2004	2,299,164	2005	2,575,905
year	Clinker (tonne)								
2003	1,922,863								
2004	2,299,164								
2005	2,575,905								
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Data obtained from Cementos Lima's production Records.								
Any comment:									

Data / Parameter:	NCV_{IC, 2003}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Imported Coal in year 2003.
Source of data used:	Supplier of imported coal provides an average of the NCV.
Value of data applied	28.4
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Supplier data is the preferred source.
Any comment:	Values were obtained by a laboratory with ISO17025 accreditation (SGS). The value is within the uncertainty range of the IPCC default values as provided in Table 1.2, Vol. 2 of the 2006 IPCC Guidelines.

Data / Parameter:	NCV_{FO, 2003}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Fuel Oil in year 2003.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied	39.8
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	NCV_{D, 2003}
--------------------------	------------------------------



Data unit:	GJ/tonne
Description:	Net calorific value of Diesel in year 2005.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied	41.40
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	NCV_{IC, 2004}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Imported Coal in year 2004.
Source of data used:	Supplier of imported coal provide an average of the NCV.
Value of data applied	29.8
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Supplier data is the preferred source.
Any comment:	Values were obtained by a laboratory with ISO17025 accreditation (SGS). The value is within the uncertainty range of the IPCC default values as provided in Table 1.2, Vol. 2 of the 2006 IPCC Guidelines.

Data / Parameter:	NCV_{NC, 2004}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of National Coal in year 2004.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied	21.6
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	The Net Calorific Value is not provided by the fuel supplier. There were no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	NCV_{PC, 2004}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Petcoke in year 2004.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.



Value of data applied	29.7
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	The Net Calorific Value is not provided by the fuel supplier. There were no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	NCV_{FO, 2004}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Fuel Oil in year 2004.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied	39.8
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	NCV_{D, 2004}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Net calorific value of Diesel in year 2005.
Source of data used:	IPCC default values at the over limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied	41.40
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	NCV_{IC, 2005}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Imported Coal in year 2005.
Source of data used:	Supplier of imported coal provide an average of the NCV.
Value of data applied	29.2
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Supplier data is the preferred source.



Any comment:	Values were obtained by a laboratory with ISO17025 accreditation (SGS). The value is within the uncertainty range of the IPCC default values as provided in Table 1.2, Vol. 2 of the 2006 IPCC Guidelines.
--------------	--

Data / Parameter:	NCV_{NC, 2005}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of National Coal in year 2005.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied	21.6
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	The Net Calorific Value is not provided by the fuel supplier. There were no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	NCV_{PC, 2005}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Petcoke in year 2005.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied	29.7
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	The Net Calorific Value is not provided by the fuel supplier. There were no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	NCV_{FO, 2005}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Fuel Oil in year 2005.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied	39.8
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.



Data / Parameter:	NCV_{D,2005}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Net calorific value of Diesel in year 2005.
Source of data used:	IPCC default values at the over limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied	41.40
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	EF_{CO₂,IC,2003,2004,2005}
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO ₂ emission factor for Imported Coal (other Bituminous Coal) in year 2003, 2004, 2005.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories
Value of data applied	0.0895
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	EF_{CO₂,NC,2003,2004,2005}
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO ₂ emission factor for National Coal in year 2003, 2004, 2005.
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories
Value of data applied	0.0946
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	EF_{CO₂,PC,2003,2004,2005}
Data unit:	tCO ₂ /GJ



Description:	CO ₂ emission factor for Petcoke in year 2003, 2004, 2005
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories
Value of data applied	0.0829
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	EF_{CO₂,FO,2003,2004,2005}
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO ₂ emission factor for Fuel oil in year 2003, 2004, 2005
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories
Value of data applied	0.0755
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	EF_{CO₂,D,2003,2004,2005}
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO ₂ emission factor for Diesel in year 2003, 2004, 2005
Source of data used:	IPCC default values at the lower limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories
Value of data applied	0.0726
Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	IPCC default value was used.

Data / Parameter:	GWP_{CH₄}
Data unit:	-
Description:	Global warming potential of methane valid for the relevant commitment period.
Source of data used:	Climate Change 2007: The Physical Science Basis, table TS.2., p. 33 (Technical Summary), Intergovernmental Panel on Climate Change.
Value of data applied	21



Justification of the choice of data or description of measurement methods and procedures actually applied :	The IPCC values are formally valid for the CDM projects.
Any comment:	IPCC default value was used.

**B.6.3 Ex-ante calculation of emission reductions:**

For the writing of this PDD, ex ante calculations of Project emissions, baseline emissions, and leakage emissions have been performed. The formulae used for carrying out the calculations correspond to those given in paragraph B.6.1 above, with the following assumptions:

Ex-ante Project Emissions Calculation (PE_y) generated by the project activity have been estimated in this PDD by using the projections of clinker production at Cementos Lima and assuming that during the project activity more than 70% of the energy required for clinker production will come from natural gas.

The projections have been done considering the historical production of clinker and use of fuels in the baseline case and then assuming a conservative increasing rate in demand for the future years which will increase the production up to the maximum capacity of the kilns.

Clinker production and fuel consumption of the plant depends on the cement demand in the market, if demand increases, more raw meal and fuels are fed to the kilns and more clinker is produced. To maintain a conservative estimation of the emission reductions, an increasing rate is used for clinker production and thus for calculations.

Year	Tonne clinker
2008	3,257,000
2009	2,810,815
2010	3,330,694
2011	3,554,064
2012	3,554,064
2013	3,554,064
2014	3,554,064

The next tables' present the types and quantities of fossil fuels that are going to be used under the project activity in both cement kilns. Natural gas is the only fuel considered as less carbon intensive fuel.

**Projected fuel consumption and clinker production**

Year	Tonne clinker	Imported Coal (tonne)	National Coal (tonne)	Petcoke (tonne)	Fuel oil (tonne)	Diesel (tonne)	Natural Gas (tonnes)
2008	3,257,000	27,929	62,928	0	4,000	69	182,854
2009	2,810,815	0	63,198	0	4,000	45	167,242
2010	3,330,694	0	51,487	0	3,059	20	202,850
2011	3,554,064	0	53,819	0	3,059	21	212,038
2012	3,554,064	0	53,819	0	3,059	21	212,038
2013	3,554,064	0	53,819	0	3,059	21	212,038
2014	3,554,064	0	53,819	0	3,059	21	212,038

The ex ante estimated project emissions are given in paragraph B.6.4 below.

Ex-ante Project Emissions Calculation

$$PE_y = PENG_y$$

These variables have been defined in paragraph B.6.1.

$$PENG_y = FC_{PJ,NG,y} \times NCV_{NG,y} \times EF_{CO_2,NG,y}$$

These variables have been defined in paragraph B.6.1.

The amount of natural gas used in the project activity is a projection made by Cementos Lima. The value for each year of the crediting period is presented in section B.7. For ex-post emission reduction calculations this parameter will be monitored as stated in section B.7.

For natural gas NCV a fixed value of 50.40 GJ/tonne is use for the crediting period in the PDD (for estimation purposes). For ex-post emissions this parameter will be monitored as presented in section B.7.

For natural gas CO₂ emission factor IPCC 2006 default value at the upper limit of uncertainty at a 95% confidence interval was used (0,0583 tCO₂/GJ).

Ex-ante Baseline Emissions Calculation (BE_y)**Step 1: Estimation of the project specific “fuel penalty”**



To determine the project specific “fuel penalty” the following formulas were used:

$$FP_y = P_{clinker,y} \times (SEC_{clinker,PJ,y} - SEC_{clinker,BL})$$

$$SEC_{clinker,PJ,y} = \frac{(FC_{PJ,IC,y} \times NCV_{IC,y}) + (FC_{PJ,NC,y} \times NCV_{NC,y}) + (FC_{PJ,FO,y} \times NCV_{FO,y}) + (FC_{PJ,PC,y} \times NCV_{PC,y}) + (FC_{PJ,NG,y} \times NCV_{NG,y})}{P_{clinker,y}}$$

$$SEC_{clinker,BL} = MIN \left[\frac{HG_x}{P_{clinker,x}}; \frac{HG_{x-1}}{P_{clinker,x-1}}; \frac{HG_{x-2}}{P_{clinker,x-2}} \right]$$

These variables have been defined in paragraph B.6.1.

Input data and results are presented in the document Excel “ER calculations”

Step 2: Baseline emissions from the fossil fuels displaced by the less carbon intensive fuel

To determine the baseline emission from the fossil fuels displaced by natural gas the following formula was used:

$$BE_{FF,y} = [(FC_{PJ,NG,y} \times NCV_{NG,y}) - FP_y] \times EF_{CO_2,BL,y}$$

These variables have been defined in paragraph B.6.1.

The net calorific values and emission factors used for each one of the fuels in the project case are given in annex 3. The quantities of fuel used for the ex ante calculations have been given in the table above.

As stated above (B.6.1), the $EF_{CO_2,BL,y}$ will be the lowest of the options A and B for every year “y”. Estimated values (based on ACM0003 procedures) and chosen options are presented in the next table.

	Case A	Case B	Case C	MIN
year	EF _{CO₂,BL,y}	EF _{CO₂,BL,y}	EF _{CO₂,BL,y}	EF _{CO₂,BL,y}
2008	0.088092	0.09938	-	0.088092
2009	0.088092	0.09930	-	0.088092
2010	0.088092	0.09940	-	0.088092
2011	0.088092	0.09947	-	0.088092
2012	0.088092	0.09947	-	0.088092
2013	0.088092	0.09947	-	0.088092
2014	0.088092	0.09947	-	0.088092

Ex-ante calculation of Leakage

Leakage is calculated as stated in paragraph B.6.1. The ex-ante estimated leakage emissions are given in paragraph B.6.4 below. The data values for leakage calculations are given in section B.6.2.

**B.6.4 Summary of the ex-ante estimation of emission reductions:**

It is expected that the Project activity will generate an average emission reductions for about 269,851 tCO₂e per year over the first 7-year crediting period from 2008 to 2014.

Year	Estimation of project activity emissions (tonnes of CO ₂ e)	Estimation of baseline emissions (tonnes of CO ₂ e)	Estimation of leakage (tonnes of CO ₂ e)	Estimation of overall emission reductions (tonnes of CO ₂ e)
2008	743 375	537 283	-	206 092
2009	687 924	491 411	-	196 512
2010	867 307	596 039	-	271 268
2011	926 807	623 035	-	303 771
2012	926 807	623 035	-	303 771
2013	926 807	623 035	-	303 771
2014	926 807	623 035	-	303 771
Total (tonnes of CO₂e)	6,005,833	4,116,875	0	1,888,958

B.7 Application of the monitoring methodology and description of the monitoring plan:**B.7.1 Data and parameters monitored:**

Data / Parameter:	FC_{PJ,NG,v}																	
Data unit:	tonne/year																	
Description:	Quantity of natural gas used in the project plant in year y																	
Source of data to be used:	Measurements are performed by the distribution company “Gas Natural de Lima y Callao S.A.”(Calidda), that is responsible for the measurements of the natural gas supplied to project activity																	
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>tonne</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008</td> <td>182,854</td> </tr> <tr> <td>2009</td> <td>167,242</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>202,850</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>212,038</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>212,038</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>212,038</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>212,038</td> </tr> </tbody> </table>		Year	tonne	2008	182,854	2009	167,242	2010	202,850	2011	212,038	2012	212,038	2013	212,038	2014	212,038
Year	tonne																	
2008	182,854																	
2009	167,242																	
2010	202,850																	
2011	212,038																	
2012	212,038																	
2013	212,038																	
2014	212,038																	
	(*) At Standard conditions, 15°C and 1 atm.																	
Description of measurement methods and procedures to be	Calidda measures the natural gas consumption by using an ultrasonic meter.																	



applied:	
Monitoring frequency	Recorded continuously and aggregated monthly to generate the supplier invoice to Cementos Lima S.A.
QA/QC procedures to be applied:	Current procedures under the Integrated Management System (ISO 9001, ISO14001, OHSAS 18001) will be used for the data sent from the supplier, e.g. Control of Documents, Control of Records, Monitoring of CO ₂ Emission Reduction Quality Plan (PC-SGP-006)
Any comment:	<p>According to National regulations the natural gas distribution company “Gas Natural de Lima y Callao S.A.”(Calidda) officially administrate the flow meters and thus are the only ones with the responsibility to perform Maintenance and Calibration Procedures of the equipments.</p> <p>The verification is performed according to the National Transport Service Standards. Said standards are established in the Ministry of Mine and Energy webpage (www.minem.gob.pe, hydrocarbon section). The verification frequency of the NG metering system is every calendar 90 days approximately and the calibration will be performed once every renewable crediting period (meter is sold calibrated by the manufacturer).</p> <p>Natural gas density given by the supplier will be monitored and used.</p>

Data / Parameter:	NG_d
Data unit:	Tonne/Nm ³
Description:	Weighted average density of natural gas (less carbon intensive fuel) in year y.
Source of data to be used:	Values provided by the fuel supplier.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.000756
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Readings from supplier’s reports for year y.
Monitoring frequency	Monthly and/or annual considering supplier’s information periodicity Weighted average annual values will be calculated (or for a monitoring period).
QA/QC procedures to be applied:	According to supplier standards.
Any comment:	This parameter will be used to determine FC _{PJ,NG,y} Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	NCV_{NG,v}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of natural gas (less carbon intensive fuel) in year y.
Source of data to be used:	IPCC default values at the upper limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories. Or



	Values will be provided by the fuel supplier (supplier's reports), when this occurs this values will be used instead of the IPCC default value.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	50.40
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Measurements will be undertaken in line with national regulations. Readings from the supplier's reports for year y. . Weighted average annual values will be calculated (or for a monitoring period). Or Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	It will be verified if the values are within the uncertainty range of the IPCC default values as provided in Table 1.2, Vol. 2 of the 2006 IPCC Guidelines (46,5 and 50,4 TJ/Gg lower and upper respectively). If the values fall out of this range, additional information will be collected from the testing laboratory to justify the outcome or additional measurements will be conducted.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	EF_{CO₂,NG,y}
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	Weighted average CO ₂ emission factor for natural gas (less carbon intensive fuel) in year y
Source of data to be used:	Values are not provided by the fuel supplier in invoices. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel, since they do not have an accredited laboratory to do these measurements, and there are no other laboratories with this capability either. There are no regional or national default values for this fuel. IPCC default values are use at the upper limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories. During the crediting period Cementos Lima laboratories may pass through an accreditation process (ISO17025) and thus, it will determine EF_{CO₂,NG,y} and use this data for Emission Reduction calculations.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.0583
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	IPPC values will be used. If measurements are performed QA/QC procedures considering ISO17025 standards will be used.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	EF_{CO₂,IC,y}
--------------------------	---



Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO ₂ emission factor for Imported Coal (other Bituminous Coal)
Source of data to be used:	<p>Values are not provided by the fuel supplier in invoices. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.</p> <p>IPCC default values are use at the upper limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.</p>
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.0997
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines should be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	-
Any comment:	-

Data / Parameter:	EF_{CO₂,NC,v}
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO ₂ emission factor for National Coal
Source of data to be used:	<p>Values are not provided by the fuel supplier in invoices. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.</p> <p>IPCC default values are use at the upper limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.</p>
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.1010
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines should be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	-
Any comment:	-

Data / Parameter:	EF_{CO₂,PC,v}
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO ₂ emission factor for Petcoke
Source of data to be used:	<p>Values are not provided by the fuel supplier in invoices. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.</p>



	IPCC default values are use at the upper limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.1150
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines should be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	-
Any comment:	-

Data / Parameter:	EF_{CO₂FO,v}
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO ₂ emission factor for Fuel oil
Source of data to be used:	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel. IPCC default values are use at the upper limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.0788
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines should be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	-
Any comment:	-

Data / Parameter:	EF_{CO₂D,v}
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO ₂ emission factor for Diesel
Source of data to be used:	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier or a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel. IPCC default values are use at the upper limit of the uncertainty at a 95% confidence interval as provided in table 1.4 of Chapter1 of Vol. 2 (Energy) of the



	2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.0748
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines should be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	-
Any comment:	-

Data / Parameter:	EF_{CO₂,BL,y}																		
Data unit:	tCO ₂ /GJ																		
Description:	Carbon dioxide emissions factor for the fossil fuels displaced by the use of less carbon intensive fossil fuel (natural gas) in the project plant in year y																		
Source of data to be used:	The lowest of the following CO ₂ emission factors: <ul style="list-style-type: none"> - the weighted average annual CO₂ emission factor for the fossil fuel(s) consumed and monitored ex ante during the most recent three years before the start of the project activity (option A). - the weighted average annual CO₂ emission factor of the fossil fuel(s) consumed in the project plant in year y that are not less carbon intensive fossil fuels (option B). 																		
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Case A (min)</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">year</th> <th style="text-align: center;">EF_{CO₂,BL,y}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">2008</td><td style="text-align: center;">0.088092</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2009</td><td style="text-align: center;">0.088092</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2010</td><td style="text-align: center;">0.088092</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2011</td><td style="text-align: center;">0.088092</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2012</td><td style="text-align: center;">0.088092</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2013</td><td style="text-align: center;">0.088092</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2014</td><td style="text-align: center;">0.088092</td></tr> </tbody> </table>	Case A (min)		year	EF _{CO₂,BL,y}	2008	0.088092	2009	0.088092	2010	0.088092	2011	0.088092	2012	0.088092	2013	0.088092	2014	0.088092
Case A (min)																			
year	EF _{CO₂,BL,y}																		
2008	0.088092																		
2009	0.088092																		
2010	0.088092																		
2011	0.088092																		
2012	0.088092																		
2013	0.088092																		
2014	0.088092																		
Description of measurement methods and procedures to be applied:	-																		
QA/QC procedures to be applied:	-																		
Any comment:	Will be monitored continuously, aggregated at least annually.																		



Data / Parameter:	$FC_{P,I,C,y}$
Data unit:	Tonnes
Description:	Quantity of Imported Coal used in the project plant in year y



Source of data to be used:	Measurements																
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Imported Coal (tonne)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008</td> <td>27,929</td> </tr> <tr> <td>2009</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Imported Coal (tonne)	2008	27,929	2009	0	2010	0	2011	0	2012	0	2013	0	2014	0
Year	Imported Coal (tonne)																
2008	27,929																
2009	0																
2010	0																
2011	0																
2012	0																
2013	0																
2014	0																
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Weighing scales will be used to measure the total amount of coal fed to each burner. When a mix of IC and NC is used, management will define the mix composition (in %), which will be controlled at the coal feeding stage of the coal milling process. Said composition is achieved by measuring the amount of each type of coal carried by the front loader.																
QA/QC procedures to be applied:	Current procedures under the Integrated Management System (ISO 9001, ISO14001, OHSAS 18001) will be used, e.g. Control of Documents, Control of Records, Corrective Actions, Inspection, Measurement and Test Equipments Control, and Internal Audits, Monitoring of CO ₂ Emission Reduction Quality Plan (PC-SGP-006). The weighing scales used to measure the total amount of coal fed to each burner will be verified once a year. The scale that measure the amount of each type of coal carried by the front loaders verified once a year with an accuracy of less than 1%.																
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.																
Data / Parameter:	FC_{PJ,NC,y}																
Data unit:	Tonnes																
Description:	Quantity of National Coal used in the project plant in year y																
Source of data to be used:	Measurements																



Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>National Coal (tonne)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008</td> <td>62,928</td> </tr> <tr> <td>2009</td> <td>63,198</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>51,487</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>53,819</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>53,819</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>53,819</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>53,819</td> </tr> </tbody> </table>	Year	National Coal (tonne)	2008	62,928	2009	63,198	2010	51,487	2011	53,819	2012	53,819	2013	53,819	2014	53,819
	Year	National Coal (tonne)															
	2008	62,928															
	2009	63,198															
	2010	51,487															
	2011	53,819															
	2012	53,819															
	2013	53,819															
2014	53,819																
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Weighing scales will be used to measure the total amount of coal fed to each burner. When a mix of IC and NC is used, management will define the mix composition (in %), which will be controlled at the coal feeding stage of the coal milling process. Said composition is achieved by measuring the amount of each type of coal carried by the front loader.																
QA/QC procedures to be applied:	Current procedures under the Integrated Management System (ISO 9001, ISO14001, OHSAS 18001) will be used, e.g. Control of Documents, Control of Records, Corrective Actions, Inspection, Measurement and Test Equipments Control, and Internal Audits, Monitoring of CO ₂ Emission Reduction Quality Plan (PC-SGP-006). The weighing scales used to measure the total amount of coal fed to each burner will be verified once a year. The scale that measure the amount of each type of coal carried by the front loaders verified once a year with an accuracy of less than 1%.																
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.																

Data / Parameter:	FC_{PJ,FO,y}																
Data unit:	Tonnes																
Description:	Quantity of Fuel Oil used in the project plant in year y																
Source of data to be used:	Measurements																
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Fuel Oil (ton)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008</td> <td>4,000</td> </tr> <tr> <td>2009</td> <td>4,000</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>3,059</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>3,059</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>3,059</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>3,059</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>3,059</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Fuel Oil (ton)	2008	4,000	2009	4,000	2010	3,059	2011	3,059	2012	3,059	2013	3,059	2014	3,059
	Year	Fuel Oil (ton)															
	2008	4,000															
	2009	4,000															
	2010	3,059															
	2011	3,059															
	2012	3,059															
	2013	3,059															
2014	3,059																



Description of measurement methods and procedures to be applied:	Volume meters will be used and reported density by the supplier will be used to obtain the quantity of fuel oil in tonnes. Furthermore, the metered fuel consumption quantities will also be cross-checked with available purchase invoices from the financial records. The parameter will be recorded considering deliveries from the supplier and aggregated at least annually (or for a monitoring period).
QA/QC procedures to be applied:	Current procedures under the Integrated Management System (ISO 9001, ISO14001, OHSAS 18001) will be used, e.g. Control of Documents, Control of Records, Corrective Actions, Inspection and Internal Audits, Monitoring of CO ₂ Emission Reduction Quality Plan (PC-SGP-006). Meters will be verified / calibrated once a year.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	FC_{PI,D,v}																
Data unit:	Tonnes																
Description:	Quantity of Diesel used in the project plant in year y																
Source of data to be used:	Measurements																
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Diesel (tonne)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>2009</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>21</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Diesel (tonne)	2008	69	2009	45	2010	20	2011	21	2012	21	2013	21	2014	21
Year	Diesel (tonne)																
2008	69																
2009	45																
2010	20																
2011	21																
2012	21																
2013	21																
2014	21																
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Cementos Lima weights every delivery truck with diesel. Diesel is stored in tanks where in a daily basis the level change is metered and consumption is thereof determined and registered. Consumption records are crosschecked with truck weight records and invoices.																
QA/QC procedures to be applied:	Current procedures under the Integrated Management System (ISO 9001, ISO14001, OHSAS 18001) will be used, e.g. Control of Documents, Control of Records, Corrective Actions, Inspection and Internal Audits, Monitoring of CO ₂ Emission Reduction Quality Plan (PC-SGP-006).																
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.																

Data / Parameter:	FC_{BL,IC,v}
Data unit:	Tonne
Description:	Quantity of Imported coal displaced in the project plant as a result of the project activity in year y
Source of data to be used:	Determined according to the guidance of the ACM0003 v5.
Value of data applied for the purpose of	



calculating expected emission reductions in section B.6	Year	Imported Coal (tonne)
	2008	166,425
	2009	296,820
	2010	271,478
	2011	329,279
	2012	344,193
	2013	344,193
	2014	344,193
Description of measurement methods and procedures to be applied:	-	
QA/QC procedures to be applied:	-	
Any comment:	Annually monitored	

Data / Parameter:	FC_{BL,NC,y}	
Data unit:	tonne	
Description:	Quantity of national coal displaced in the project plant as a result of the project activity in year y	
Source of data to be used:	Determined according to the guidance of the ACM0003 v5.	
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	Year	National Coal (tonne)
	2008	3,036.43
	2009	5,415.50
	2010	4,953.14
	2011	6,007.72
	2012	6,279.83
	2013	6,279.83
	2014	6,279.83
Description of measurement methods and procedures to be applied:	-	
QA/QC procedures to be applied:	-	
Any comment:	Annually monitored	



Data / Parameter:	FC_{BL,PC,y}																
Data unit:	tonne																
Description:	Quantity of petcoke displaced in the project plant as a result of the project activity in year y																
Source of data to be used:	Determined according to the guidance of the ACM0003 v5.																
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Petcoke (tonne)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008</td> <td>8,498.15</td> </tr> <tr> <td>2009</td> <td>15,156.54</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>13,862.51</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>16,814.01</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>17,575.58</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>17,575.58</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>17,575.58</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Petcoke (tonne)	2008	8,498.15	2009	15,156.54	2010	13,862.51	2011	16,814.01	2012	17,575.58	2013	17,575.58	2014	17,575.58
Year	Petcoke (tonne)																
2008	8,498.15																
2009	15,156.54																
2010	13,862.51																
2011	16,814.01																
2012	17,575.58																
2013	17,575.58																
2014	17,575.58																
Description of measurement methods and procedures to be applied:	-																
QA/QC procedures to be applied:	-																
Any comment:	Annually monitored																

Data / Parameter:	FC_{BL,FO,y}																
Data unit:	tonne																
Description:	Quantity of Fuel Oil displaced in the project plant as a result of the project activity in year y																
Source of data to be used:	Determined according to the guidance of the ACM0003 v5.																
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Fuel Oil (tonne)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008</td> <td>9,203.37</td> </tr> <tr> <td>2009</td> <td>16,414.31</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>15,012.89</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>18,209.32</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>19,034.08</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>19,034.08</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>19,034.08</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Fuel Oil (tonne)	2008	9,203.37	2009	16,414.31	2010	15,012.89	2011	18,209.32	2012	19,034.08	2013	19,034.08	2014	19,034.08
Year	Fuel Oil (tonne)																
2008	9,203.37																
2009	16,414.31																
2010	15,012.89																
2011	18,209.32																
2012	19,034.08																
2013	19,034.08																
2014	19,034.08																
Description of measurement methods	-																



and procedures to be applied:	
QA/QC procedures to be applied:	-
Any comment:	Annually monitored

Data / Parameter:	FC_{BL,D,v}																
Data unit:	tonne																
Description:	Quantity of Diesel displaced in the project plant as a result of the project activity in year y																
Source of data to be used:	Determined according to the guidance of the ACM0003 v5.																
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Diesel (tonne)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008</td> <td>59.65</td> </tr> <tr> <td>2009</td> <td>106.38</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>97.30</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>118.01</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>123.36</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>123.36</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>123.36</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Diesel (tonne)	2008	59.65	2009	106.38	2010	97.30	2011	118.01	2012	123.36	2013	123.36	2014	123.36
Year	Diesel (tonne)																
2008	59.65																
2009	106.38																
2010	97.30																
2011	118.01																
2012	123.36																
2013	123.36																
2014	123.36																
Description of measurement methods and procedures to be applied:	-																
QA/QC procedures to be applied:	-																
Any comment:	Annually monitored																



Data / Parameter:	NCV_{IC,y}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Imported Coal in year y.
Source of data to be used:	Values provided by the imported coal supplier or IPCC default values at the upper limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	26.0 (IPCC)
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Measurements will be undertaken in line with national and international fuel standards (accredited lab). The NCV will be obtained for each fuel delivery or from a representative sample every year (or for a monitoring period), from which weighted average annual values will be calculated (or for a monitoring period). The supplier actually works with SGS's laboratory which has ISO17025 accreditation. Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	When values are provided by supplier, it will be verified if the values are within the uncertainty range of the IPCC default values as provided in Table 1.2, Vol. 2 of the 2006 IPCC Guidelines. If the values fall below this range, additional information will be collected from the testing laboratory to justify the outcome or additional measurements will be conducted.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	NCV_{NC,y}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of National Coal in year y.
Source of data to be used:	Values provided by measurements done by the project participant or IPCC default values at the upper limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.5	32.2



Description of measurement methods and procedures to be applied:	The NCV will be measured by Cementos Lima's laboratory for each fuel lot received or from a representative monthly or yearly sample (or for a monitoring period), from which weighted average annual values will be calculated (or for a monitoring period). Cementos Lima's laboratory operates under the conditions of ISO9001 and regularly participates in the test accuracy comparison program held by the Cement and Concrete Reference Laboratory (CCRL), obtaining very high scores, thus complying with quality standards similar to ISO17025. Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	When values are provided by measurements the project participant, it will be verified if the values are within the uncertainty range of the IPCC default values as provided in Table 1.2, Vol. 2 of the 2006 IPCC Guidelines. If the values fall below this range, additional information will be collected from the testing laboratory to justify the outcome or additional measurements will be conducted.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	NCV_{FO,y}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Fuel Oil in year y.
Source of data to be used:	IPCC default values at the upper limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	41.7
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier nor a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	NCV_{PC,y}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Petcoke in year y.
Source of data to be used:	IPCC default values at the upper limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	41.9



Description of measurement methods and procedures to be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	Values are not provided by the fuel supplier in invoices. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	NCV_{D,v}
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of Diesel in year y.
Source of data to be used:	IPCC default values at the upper limit of the uncertainty at 95% confidence interval as provided in Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) of the 2006 IPCC Guidelines on National GHG Inventories.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	43.3
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
QA/QC procedures to be applied:	Values are not provided by the fuel supplier in invoices and this will not occur in the future since is not a service provided by the supplier nor a condition established by law. There are no measurements undertaken by the project participants for this fuel. There are no regional or national default values for this fuel.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	P_{clinker,v}																
Data unit:	tonne																
Description:	Production of clinker in year y																
Source of data to be used:	Production data logs at the project site.																
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Tonne clinker</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2008</td> <td>3,257,000</td> </tr> <tr> <td>2009</td> <td>2,810,815</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>3,330,694</td> </tr> <tr> <td>2011</td> <td>3,554,064</td> </tr> <tr> <td>2012</td> <td>3,554,064</td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>3,554,064</td> </tr> <tr> <td>2014</td> <td>3,554,064</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Tonne clinker	2008	3,257,000	2009	2,810,815	2010	3,330,694	2011	3,554,064	2012	3,554,064	2013	3,554,064	2014	3,554,064
Year	Tonne clinker																
2008	3,257,000																
2009	2,810,815																
2010	3,330,694																
2011	3,554,064																
2012	3,554,064																
2013	3,554,064																
2014	3,554,064																



Description of measurement methods and procedures to be applied:	Raw Meal weighing feeders are used to record raw meal input to the kilns and then a factor is used to calculate the clinker production. This factor is updated at least quarterly and annually a crosschecking is performed considering the stock at the kardex.
QA/QC procedures to be applied:	Current procedures under the Integrated Management System (ISO 9001, ISO14001, OHSAS 18001) will be used, e.g. Control of Documents, Control of Records, Corrective Actions, Inspection, Measurement and Test Equipments Control, and Internal Audits, Monitoring of CO ₂ Emission Reduction Quality Plan (PC-SGP-006). The weighing feeders will be calibrated once a year.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	EF_{IC,upstream,CH4}
Data unit:	t CH ₄ / GJ
Description:	Emission factor for upstream fugitive methane emissions for Imported Coal
Source of data used:	IPCC default emission factors provided in Volume 3 of the 1996 Revised IPCC Guidelines.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.0005154
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Reliable and accurate national data on upstream fugitive CH ₄ emissions associated with Imported Coal is not available. It is used the default values provided in Table 3 in the methodology ACM0003. The total imported coal is from underground mining.
QA/QC procedures to be applied:	IPCC default value was used. Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	EF_{NC,upstream,CH4}
Data unit:	t CH ₄ / GJ
Description:	Emission factor for upstream fugitive methane emissions for National Coal
Source of data used:	IPCC default emission factors provided in Volume 3 of the 1996 Revised IPCC Guidelines.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.0004161
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Reliable and accurate national data on upstream fugitive CH ₄ emissions associated with National Coal is not available. It is used the default values provided in Table 3 in the methodology ACM0003.
QA/QC procedures to	IPCC default value was used.



be applied:	Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	EF_{PC,upstream,CH4}
Data unit:	t CH4 / GJ
Description:	Emission factor for upstream fugitive methane emissions for Petcoke
Source of data used:	IPCC default emission factors provided in Volume 3 of the 1996 Revised IPCC Guidelines.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	$1.9 * 10^{-5}$
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Reliable and accurate national data on upstream fugitive CH ₄ emissions associated with Petcoke is not available. It is used the default values provided for Coal in Table 3 in the methodology ACM0003.
QA/QC procedures to be applied:	IPCC default value was used. Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period.

Data / Parameter:	EF_{FO,upstream,CH4}
Data unit:	t CH4 / GJ
Description:	Emission factor for upstream fugitive methane emissions for Fuel Oil
Source of data used:	IPCC default emission factors provided in Volume 3 of the 1996 Revised IPCC Guidelines.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	$4.1 * 10^{-6}$
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Reliable and accurate national data on upstream fugitive CH ₄ emissions associated with Fuel Oil is not available. It is used the default values provided for Oil in Table 3 in the methodology ACM0003.
QA/QC procedures to be applied:	IPCC default value was used. Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period

Data / Parameter:	EF_{D,upstream,CH4}
Data unit:	t CH4 / GJ
Description:	Emission factor for upstream fugitive methane emissions for Diesel
Source of data used:	IPCC default emission factors provided in Volume 3 of the 1996 Revised IPCC Guidelines.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in	$4.1 * 10^{-6}$



section B.6	
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Reliable and accurate national data on upstream fugitive CH ₄ emissions associated with Fuel Oil is not available. It is used the default values provided for Oil in Table 3 in the methodology ACM0003.
QA/QC procedures to be applied:	IPCC default value was used. Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period

Data / Parameter:	EF_{NG,upstream,CH4}
Data unit:	t CH ₄ / GJ
Description:	Emission factor for upstream fugitive methane emissions from production, transportation and distribution of natural gas.
Source of data used:	IPCC default emission factors provided in Volume 3 of the 1996 Revised IPCC Guidelines.
Value of data applied for the purpose of calculating expected emission reductions in section B.6	0.000160
Description of measurement methods and procedures to be applied:	Reliable and accurate national data on fugitive CH ₄ emissions associated with the production, transportation and distribution of Natural Gas is not available. It is used the default values provided in Table 3 in the methodology ACM0003. The system (gas production and/or processing/transmission/distribution) was recently built and is operated under international standards; hence US/Canada values are used.
QA/QC procedures to be applied:	IPCC default value was used. Any future revision of the IPCC Guidelines will be taken into account.
Any comment:	Data will be archived for two (2) years following the end of the crediting period

B.7.2 Description of the monitoring plan:

Before the start of the crediting period of the project activity, the following procedures and activities will be implemented:

- Establish and maintain data measurement, collection and recording systems.
- Monitoring of CO₂ Emission Reduction Quality Plan (includes quality assurance for internal and external data acquisition and procedures for project performance review before submitted for verification).
- Procedures for storing and maintain records (paper trail).



- Identification of training needs to enable operational staff to meet the needs of the project and this monitoring plan.
- Procedures for maintenance of equipment.
- Procedure for corrective actions to improve future monitoring and reporting.
- Emergency Response Procedures.

The Monitoring and Verification Plan describes the procedures for data collection and auditing required for the project, in order to determine and verify emissions reductions achieved by the project. This project will require only very straightforward collection of data, described in this PDD, most of which is already collected routinely by the staff of Cementos Lima at the Atocongo Plant, where the proposed CDM project is to be implemented.

The ISO 9001 procedure PG-GG-005 “Corrective and preventive actions implementation” will be applied to correct any deviation to stated requirements and thus improve future accuracy of data and reporting.

GHG related data:

- Quantity of natural gas used at the cement plant.
- Estimation of methane emissions from natural gas production and pipeline leakage (internal and external to project site).

B.8 Date of completion of the application of the baseline study and monitoring methodology and the name of the responsible person(s)/entity(ies)

The baseline study and monitoring methodology was completed on 08/04/2008 by:

Cementos Lima S.A. (PROJECT DEVELOPER)

Av Carlos Villarán 508, Off. 301
Santa Catalina La Victoria, Lima, Peru
Phone: +51 1 265-7045
Fax: +51 1 470-8946
e-mail: bustamantej@cementoslima.com.pe

DEUMAN Ltda (NOT A PROJECT PARTICIPANT)

Av. Vitacura 2909, Off.905
Las Condes- Santiago de Chile, Chile
Phone: +56 2 335-2607
Fax: +56 2 335 2609
e-mail: info@deuman.com

**SECTION C. Duration of the project activity / crediting period****C.1 Duration of the project activity:****C.1.1. Starting date of the project activity:**

The starting date of the project activity is September 21st, 2004, when Cementos Lima decided to start the implementation of the infrastructure to operate with natural gas at Atocongo Cement Plant. This project activity has started operation with natural gas since July 2006. The Crediting Period will not start before the Registration date of the project.

C.1.2. Expected operational lifetime of the project activity:

20 - 30 years.

C.2 Choice of the crediting period and related information:**C.2.1. Renewable crediting period****C.2.1.1. Starting date of the first crediting period:**

The estimated date for the beginning of the first crediting period is September 1st, 2008 but the project plans to start its Monitoring and Crediting period only as soon as it is officially registered as a CDM activity.

C.2.1.2. Length of the first crediting period:

7 years

C.2.2. Fixed crediting period:**C.2.2.1. Starting date:**

Not Applicable

C.2.2.2. Length:

Not Applicable

**SECTION D. Environmental impacts****D.1. Documentation on the analysis of the environmental impacts, including transboundary impacts:**

According to the Peruvian regulations the submission of an Environmental Impact Study is not necessary for the switching to natural gas, or for the construction of the extension of the natural gas supply pipes.

The substitution of coal by natural gas has positive environmental impact on several grounds. Eliminating coal use at the plant reduces coal consumption. This reduces environmental impact at the mining site. The environmental impact of coal transport from mine to project site is also eliminated. Finally, coal burning produces a number of gaseous and particulate emissions which are local air pollutants. The particulate emissions are almost completely eliminated by switching to natural gas, vastly improving local environmental health and working conditions at the plant. Gaseous pollutants are also substantially reduced since natural gas burns more cleanly than coal.

As shown in Table 1, natural gas presents lower emission factors than coal regarding local pollutants, such as particulate matter, sulphur and nitrogen oxides. These local pollutants, especially sulphur oxides are the main cause of one of the major atmospheric problems in Lima, Peru.

Local pollutants emission factors for natural gas and coal.

Fuel	Particulate Matter	Sulphur oxides (SO _x)	Nitrogen oxides (NO _x)
Natural Gas	1	1	1
Coal	157	5,283	6

Source: MINEM.

The implementation of the 3.5 Km pipeline to transport natural gas to the project plant will generate land movements, emissions from the operation of specialized machinery and personnel mobilizations. Due to the size and location of the project activity there was no camp installation, therefore no major residues or residency construction were done. The pipeline construction does not displace or cross over populated areas, minimizing the social impact. After the installation of the pipeline, associated impacts stop.

Due to a contractual agreement, Calidda will be responsible for an emergency response regarding the distribution of natural gas and also for the safety, contingency and emergencies procedures. Cementos Lima has developed a procedure for Emergency Response to Natural Gas Leak, in order to allow a fast response to such situations, fight or mitigate these emissions and reduce the risks to workers and to the plant operation.

The implementation of the new burners in the kilns is an intern practice with minimal impacts since is only the replacement of the burning systems.



D.2. If environmental impacts are considered significant by the project participants or the host Party, please provide conclusions and all references to support documentation of an environmental impact assessment undertaken in accordance with the procedures as required by the host Party:

No significant negative environmental impact is expected from the project activities: gas pipeline extension and conversion of the cement plant from coal to natural gas.

SECTION E. Stakeholders' comments

E.1. Brief description how comments by local stakeholders have been invited and compiled:

Cementos Lima S.A. carried out a public participation process, with the aim of informing the community about the implementation of the Project as well as giving response to their potential concerns. A summary of the Process is given below.

During the design phase:

- 1) A number of public conferences were given to the affected population and different representatives within the area of influence of the project, such as: The Community Educational Centre, Metropolitan Municipality of Lima, District Municipalities of Villa Maria de Triunfo, Lurin and Villa El Salvador.
- 2) Questions and comments were collected in those conferences.
- 3) As a result, support letters from the local governments were obtained.

After the design phase, the project was presented to the community members, and they were informed about the economical and environmental benefits of its implementation.

Finally, and counting with the official presence of a representative of the Peruvian DNA (CONAM), an Information Conference was given about the project *Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension*. After the Conference all the questions and doubts were appropriately addressed and answered.

E.2. Summary of the comments received:

The received comments are summarized here:

- **Seven (7)** from the local population, in summary:
 - Some were thankful about the information given by Cementos Lima to the affected population, and asked for the continuation of communication during the future phases of the project.
 - Some asked Cementos Lima for assistance in the assessment of the possibility of switching to natural gas for domestic use in the area around the project.
 - Some asked for the continuation of capacity building in environmental issues.



- **One (1)** from the Director of the Educational Centers 7502 and 7501, who informed of the advantages of living in the area around Cementos Lima and the social benefits received from the company, such as: distribution of milk to the children attending the school, the maintenance of the Sport Center, and the cost-free living of some teachers in the area. Also, nowadays all the schools premises belong to the company.
- **Two (2)** from Contractors, who asked for the continuation of the communication and capacity building in environmental issues, and exposed their happiness about switching to natural gas, since this fact will avoid the risks of explosions (this risk was present before due to the storage of fuels in the plant).

E.3. Report on how due account was taken of any comments received:

The project developer will take due account of any suggestions and/or comments that could yet been received. At the same time the developer will inform the stakeholders regularly on the progress of the CDM Project at Atocongo Cement Plant.

The office of environment and the environmental consultancy Deuman, will be in charge for the organization of future capacity building sessions in environmental issues.

Also, the pertinence to perform a feasibility study for the switching to natural gas for domestic use in the area around Cementos Lima will be analyzed.

Annex 1**CONTACT INFORMATION ON PARTICIPANTS IN THE PROJECT ACTIVITY**

Organization:	Cementos Lima S.A.
Street/P.O.Box:	Av Carlos Villarán 508, office 301. Santa Catalina La Victoria
Building:	
City:	Lima
State/Region:	Lima
Postfix/ZIP:	
Country:	Peru
Telephone:	51 - 1 – 265-7045
FAX:	51 - 1 – 470-8946
E-Mail:	bustamantej@cementoslima.com.pe
URL:	www.cementoslima.com.pe
Represented by:	
Title:	Corporate Development Manager
Salutation:	
Last Name:	Bustamante
Middle Name:	
First Name:	Jaime
Department:	
Mobile:	
Direct FAX:	51 - 1 –470 89 46
Direct tel:	51 - 1 – 265-7055
Personal E-Mail:	bustamantej@cementoslima.com.pe



Annex 2

INFORMATION REGARDING PUBLIC FUNDING

No public funds from any national or international source are involved in the project activity.



Annex 3

BASELINE INFORMATION

In the next tables the most relevant input data used to estimate the emission reductions are presented:

Data/Parameter	Value	Data Unit	Source of Data
Conversion			
NG density	0,000756	ton/Nm ³	Cementos Lima (15°C and 1atm)

Calculation

Year	Parameter	Value	Data Unit	Source of Data
Project (PDD)	NCV _{NG,y}	0,04	GJ/Nm ³	Cementos Lima's Natural Gas Provider
	NCV _{NG,y}	46,50	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{NG,y}	50,40	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper
	NCV _{IC,y}	26,0	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper
	NCV _{NC,y}	32,20	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper
	NCV _{FO,y}	41,70	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper
	NCV _{D,y}	43,30	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper
2003	NCV _{PC,y}	41,90	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper
	NCV _{IC,2003}	28,4	GJ/tonne	
	NCV _{NC,2003}	-	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{PC,2003}	-	GJ/tonne	
2004	NCV _{FO,2003}	39,8	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{D,2003}	41,4	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{IC,2004}	29,8	GJ/tonne	
	NCV _{NC,2004}	21,6	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{PC,2004}	29,7	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
2005	NCV _{FO,2004}	39,8	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{D,2004}	41,4	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{IC,2005}	29,2	GJ/tonne	
	NCV _{NC,2005}	21,6	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{PC,2005}	29,7	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{FO,2005}	39,8	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
	NCV _{D,2005}	41,4	GJ/tonne	IPCC 2006, Table 1.2 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower

NCV _{IC,min 2003-2005}	29,16	GJ/tonne	average value among 2003-2005
NCV _{NC,min 2003-2005}	21,60	GJ/tonne	average value among 2003-2006
NCV _{PC,min 2003-2005}	29,70	GJ/tonne	average value among 2003-2007
NCV _{FO,min 2003-2005}	39,80	GJ/tonne	average value among 2003-2008
NCV _{D,min 2003-2005}	41,40	GJ/tonne	average value among 2003-2009
EF _{CO2,NG,y}	0,0583	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper
EF _{CO2,IC,y}	0,0895	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower, Bituminous Coal
EF _{CO2,NC,y}	0,0946	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower, Antracite
EF _{CO2,PC,y}	0,0829	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
EF _{CO2,FO,y}	0,0755	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower
EF _{CO2,D,y}	0,0726	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) lower

EF _{CO2,IC,y}	0,0997	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper, Bituminous Coal
EF _{CO2,NC}	0,1010	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper, Antracite
EF _{CO2,PC}	0,1150	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper
EF _{CO2,FO}	0,0788	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper
EF _{CO2,D}	0,0748	tCO ₂ /GJ	IPCC 2006, Table 1.4 of Chapter 1 of Vol. 2 (Energy) upper

EF _{NG,upstream,CH4}	0,00016	tCH ₄ /GJ	Table 3 ACM0003, USA and Canada
-------------------------------	---------	----------------------	---------------------------------

EF _{Imp Coal,upstream,CH4}	3,07692E-05	tCH ₄ /GJ	Table 3 ACM0003, Coal
EF _{Nat Coal,upstream,CH4}	2,48447E-05	tCH ₄ /GJ	Table 3 ACM0003, Coal
EF _{Petcoke,upstream,CH4}	1,91847E-05	tCH ₄ /GJ	Table 3 ACM0003, Coal
EF _{Fueloil,upstream,CH4}	0,0000041	tCH ₄ /GJ	Table 3 ACM0003, Oil
EF _{Diesel,upstream,CH4}	0,0000041	tCH ₄ /GJ	Table 3 ACM0003, Oil

GWP _{CH4}	21
--------------------	----



Annex 4

MONITORING PLAN

Management of Project Registration, Monitoring, Measurement and Reporting

The Project Developer's Head Office will have final responsibility for all aspects related to data measurements, monitoring of data recording and emissions and will sign off all reports on monitoring.

Data will be collected and consolidated by the On-site Technician and Operations Manager. The last one will also draw up the monthly and annual emission reduction monitoring reports.

Monitoring itself will be integrated as far as possible into existing plant operating procedures. The bulk of data required for the monitoring of the emission reductions will come from data already collected as part of the plant's operations.

Data will be recorded at regular intervals. The actual measured data will be entered into a "ER Spreadsheet" to calculate the emission reductions for the period.

Training of Monitoring Personnel

There is a specific procedure in place for competence building for all employees. This procedure will be used to achieve any training required.

Emergency preparedness procedures

The following emergency events which could have an impact on the project's emission reductions or the data collection procedures can be foreseen:

- Unscheduled plant shutdown
- Leakage in the natural gas supply and distribution system.

In the case of an unforeseen plant shut down due to production problems the data monitoring procedure will be able to pick up any resulting increase or reduction in fuel use. The impact of the unforeseen stoppage will therefore be reflected in the emission reduction reports.

Calibration of monitoring equipment

The company will apply its general procedure for monitoring equipment control to the calibration tasks of this project activity.



In the case of the ultrasonic meter used to measure the amount of natural gas consumed by the plant, the manufacturer sent a formal communication where they indicated that they do not have a stipulated re-calibration frequency (they sell the meter already calibrated). The manufacturer also indicated that the re-calibration frequency for a natural gas meter is performed according to the national legislation of the country where the meter has been installed, and that they do not have international statistics of the average re-calibration frequency, the only detail information they have is from Germany where the re-calibration frequency for the ultrasonic meters (same type as the one used in the present project activity) is of eight (8) years. Peruvian legislation recommends a verification frequency of 90 days but leaves the calibration frequency open. Taking all previous information into account, the calibration frequency will be of seven (7) years, counted from July 2006. This frequency is stricter than the German legislation requirement.

Monitoring data adjustment procedures

Data will be collected on daily and monthly basis and consolidated on a monthly basis where the data will be checked for quality control purposes when possible (invoices, other measurements, official data, independent values, etc.). If there are discrepancies in the data, the source of the variation will be identified, be it the main measured value or the quality control value. The incorrect value will be deleted and the measured data compared to historical and predicted values before being finally recorded.

Data and reports review procedures

Data will be reviewed by the Operation Manager and signed off on a monthly basis.

Internal GHG audit procedures

There are no requirements for internal audits of GHG project compliance with the plants operational requirements.

Operational procedures and responsibilities for monitoring and quality assurance of emissions reductions from the project activity are presented in the next table:

Task	On-site technician	Operations manager	Project developer's head office	Head of Maintenance / External company	Deuman
Collect Data	E	E/R	N/A	N/A	N/A
Enter data into Spreadsheet	N/A	E	R	N/A	N/A
Make monthly and annual reports	N/A	E	R	N/A	I/R
Archive data & reports	N/A	E	E	N/A	N/A
Calibration / Maintenance	I	R	I	E	I



(E = responsible for executing the task, R = responsible for overseeing and assuring quality, I = to be informed)

ANEXO E

INFORME DE VERIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN

DEL PROYECTO MDL REGISTRADO

(Verification and Certification Report of the Registered CDM Project)

**“FUEL SWITCHING AT ATOCONGO CEMENT PLANT AND NATURAL
GAS PIPELINE EXTENSION, CEMENTOS LIMA, PERÚ”**



South Asia

Choose certainty.
Add value.

Verification and Certification Report

of the Registered CDM Project

“FUEL SWITCHING AT ATOCONGO CEMENT PLANT AND
NATURAL GAS PIPELINE EXTENSION, CEMENTOS LIMA,
PERU”

UNFCCC reference number: 1902

Monitoring Period 03: 01/09/2010 to 31/08/2011

Report No. 600500795

24th June 2013

TÜV SÜD South Asia Pvt. Ltd.
Environmental Technology
Carbon Management Service
Solitaire, I.T.I. Road, Aundh
Pune- 411007
INDIA

Date of first issue of this report	11/06/2013
Revision No. of this report	00
Registered PDD (version/date)	Version 02 - 16/04/2008
Registration date	10/11/2008
Revised Monitoring Plan	NA
Methodology (title; number; version)	Emissions reduction through partial substitution of fossil fuels with alternative fuels or less carbon intensive fuels in cement manufacture, ACM0003 Version 05
Crediting period	10/11/2008 to 09/11/2015 (renewable)
Published Monitoring Report (version/date)	Version 01 - 31/10/2011
Final Monitoring Report (version/date)	Version 03 - 02/04/2013
Scope	04
Technical Area	4.1
Location of the Project	Union Andina de Cementos S.A.A. Av Carlos Villarán 508, Off. 301 Santa Catalina La Victoria, Lima, Peru <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kiln I: South: 12°11'35.8" – West: 76°54'20.74" ➤ Kiln II: South: 12°11'35.94" – West: 76°54'19.3"
Project Participant (contractor)	Union Andina de Cementos S.A.A (Contractor) EDF Trading Ltd.
Project Documentation Link	http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1214842761.22/view

VERIFICATION AND CERTIFICATION CONCLUSION

TÜV SÜD South Asia Pvt. Ltd. has performed the periodic verification of the aforementioned CDM project activity. The verification is based on the currently valid documentation of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

The management of Union Andina de Cementos S.A.A is responsible for the preparation of the GHG emissions data and the reported GHG emission reductions on the basis set out within the project's Monitoring Plan indicated in the registered PDD and the applied methodology.

The verifier can confirm that:

- the development and maintenance of records and reporting procedures are in accordance with the registered monitoring plan;
- the project is operated as planned and described in the project design document approved by the EB;
- the installed equipment being essential for generating emission reduction runs reliably and is calibrated appropriately;
- the monitoring system is in place and generates GHG emission reductions data;
- the GHG emission reductions are calculated without material misstatements;
- the monitoring plan in Monitoring Report is as per the PDD and monitoring plan approved by the EB;

- the monitoring plan in the approved PDD is as per the applied methodology.
- There is an audit trail that contains the evidence and records that validate the stated figures.

Based on the information we have seen and evaluated, we confirm that the project activity achieved the verified amount of reductions in anthropogenic emissions by sources of greenhouse gases that would not have occurred in the absence of the project activity.

Verified emission reductions in this monitoring period: 137,753 t CO_{2e}

Baseline:	561,184.07 (round down = 561,184) tCO _{2e}
Project emissions:	423,430.54 (rounded up = 423,431) tCO _{2e}
Leakage:	00 tCO _{2e}

Pune, DD/MM/YYYY

Certification Body "Environment and Energy"
TÜV SÜD South Asia

Abbreviations

ACM	Approved Consolidated Methodology
BM	Build Margin
CAR	Corrective Action Request
CDM	Clean Development Mechanism
CDM-EB	CDM Executive Board
CER	Certified Emission Reduction
CM	Combined Margin
CMP	Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol
CO_{2e}	Carbon dioxide equivalent
CR / CL	Clarification Request
DNA	Designated National Authority
DOE	Designated Operational Entity
EF	Emission Factor
EIA / EA	Environmental Impact Assessment / Environmental Assessment
ER	Emission Reduction
FAR	Forward Action Request
FSR	Feasibility Study Report
GHG	Greenhouse Gas(es)
GWP	Global Warming Potential
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRL	Information Reference List
KP	Kyoto Protocol
MP	Monitoring Plan
MR	Monitoring Report
NGO	Non-Governmental Organisation
OM	Operational Margin
PCP	Project Cycle Procedure
PDD	Project Design Document
PP	Project Participant
PS	Project Standard
TÜV SÜD	TÜV SÜD South Asia Pvt. Ltd
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VVS	Clean Development Mechanism Validation And Verification Standard

Table of Contents	Page
1 Methodology.....	5
1.1 Objective	5
1.2 Scope.....	5
1.3 Verification Process	5
1.4 Appointment of the Team.....	6
1.5 Review of Documents	6
1.6 On-site Assessment and follow-up Interviews	7
1.7 Resolution of Clarification and Corrective and Forward Action Requests	7
1.8 Internal Quality Control	7
2 Reporting Requirements	8
2.1 FARs from Validation / Previous Verification	8
2.2 Project Implementation in accordance with the registered Project Design Document.	10
2.3 Compliance of the Monitoring Plan with the Monitoring Methodology	10
2.4 Compliance of the Monitoring with the Monitoring Plan.....	10
2.5 Assessment of Data and Calculation of Greenhouse Gas Emission Reductions	15

Annex 1: List of Findings

Annex 2: Information Reference List

Annex 3: Appointment Certificate

1 METHODOLOGY

1.1 Objective

TÜV SÜD has been commissioned by the aforementioned client to perform an independent verification assessment.

The objective of the verification work is to comply with the requirements of paragraph 62 of the CDM Modalities and Procedures. According to this assessment TÜV SÜD shall:

- ensure that the project activity has been implemented and operated as per the registered PDD and that all physical features (technology, project equipment, monitoring and metering equipment) of the project are in place,
- ensure that the published MR and other supporting documents provided are complete, verifiable and in accordance with applicable CDM requirements,
- ensure that the actual monitoring systems and procedures comply with the monitoring systems and procedures described in the monitoring plan and the approved methodology,
- evaluate the data recorded and stored as per the applicable requirements.

1.2 Scope

The verification scope encompasses an independent and objective review and ex-post determination of the monitored reductions in GHG emissions by the Designated Operational Entity. The verification is based on the submitted monitoring report, the validated project design documents including its monitoring plan and validation report, previous verification reports (if any), the applied monitoring methodology, relevant decisions, clarifications and guidance from the CMP and the EB and any other information and references relevant to the project activity's resulting emission reductions. These documents are reviewed against the requirements of the Kyoto Protocol, the CDM Modalities and Procedures and related rules and guidance.

Based on the requirements in the VVS, TÜV SÜD has applied a rule-based approach for the verification of the project. The principles of accuracy, completeness, relevance, reliability and credibility were combined with a conservative approach to establish a traceable and transparent verification opinion.

The verification considers both quantitative and qualitative information on emission reductions.

The verification is not meant to provide any consultancy towards the client. However, stated requests for clarifications, corrective and/or forward actions may provide input for improvement of the monitoring activities.

1.3 Verification Process

The information provided by the project participants is assessed by applying the means of verification specified in the VVS and in the absence of specific means of verification specified in the VVS the standard auditing techniques are applied.

Once TÜV SÜD receives the Monitoring Report and a confirmation from any PP to upload, the MR is made publicly available through a dedicated interface on the UNFCCC CDM website.

A competent assessment team is selected prior to the start of the verification. The team is selected to cover the technical area(s), sectoral scope(s) and relevant host country experience for evaluating the CDM project activity. Additionally a competent Technical Reviewer or Technical Reviewer Team is appointed to conduct checks on quality and completeness.

The verification team performs first a desk review, followed by an on-site visit, which results in the formation of a draft report and a list of findings. The next step involves the evaluation of the findings through direct communication with the PPs and then finally the preparation of the

verification report. This verification report and other supporting documents then undergo an internal quality control by the CB “Environment and energy” before submission to the CDM-EB.

1.4 Appointment of the Team

According to the technical scopes and experiences in the sectoral or national business environment, TÜV SÜD has composed a assessment team in accordance with the appointment rules of the TÜV SÜD Certification Body “Environment and Energy”.

The composition of an assessment team has to be approved by the Certification Body (CB) to assure that the required skills are covered by the team. The CB of TÜV SÜD operates the following qualification levels for team members that are assigned by formal appointment rules:

- Assessment Team Leader (ATL);
- Verifier (V);
- Verifier Trainee (T);
- Technical Experts (TE);
- Country expert (CE);
- Technical reviewer (TR).

It is required that the sectoral scope(s) and the technical area(s) (TA) linked to the methodology/ies and project have to be covered by the assessment team. Appointment certificates of the selected team members are attached to this report as Annex.

Assessment Team:

Name	Qualification	Scope	Technical Area	Host country experience	Onsite visit
Nikunj Agarwal	ATL	-	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Robert Mitterwalner	V	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	<input checked="" type="checkbox"/>
Adriana Amaro	T*	-	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

* Left the organisation

Technical Reviewer (s):

Name	Qualification	Scope	Technical area
Rachel Zhang	TR	-	-
Thomas Kleiser	TE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

1.5 Review of Documents

Publication has been initiated before the verification activities started. Based on the published MR the assessment team performed a desk review to:

- verify the completeness of the data and the information presented in the MR,
- check the compliance of the MR with respect to the monitoring plan depicted in the registered PDD and verify that the applied methodology was carried out. Particular attention to the frequency of measurements, the quality of the metering equipment including calibration requirements, and the quality assurance and quality control procedures was paid,
- evaluate the data management and the quality assurance and quality control system in the context of their influence on the generation and reporting of emission reductions.

A complete list of all documents reviewed is available in the Information Reference List attached as Annex 2 to this report.

1.6 On-site Assessment and follow-up Interviews

During on-site visit (dates of on-site visit (12/12/2011 - 14/12/2011)) TÜV SÜD performed a physical site inspection and interviewed project stakeholders to:

- confirm the implementation and operation of the project,
- review the data flow for generating, aggregating and reporting the monitoring parameters,
- confirm the correct implementation of procedures for operations and data collection,
- cross-check the information provided in the MR documentation with other sources,
- check the monitoring equipment against the requirements of the PDD and the approved methodology, including calibrations, maintenance, etc.,
- review the calculations and assumptions used to obtain the GHG data and ER,
- identify if the quality control and quality assurance procedures are in place to prevent or correct errors or omissions in the reported parameters.

A list of all persons interviewed is included in the IRL attached as Annex 2 to this report.

1.7 Resolution of Clarification and Corrective and Forward Action Requests

The objective of this phase of the verification is to resolve the requests for corrective actions, clarifications, and any other outstanding issues which need to be clarified for TÜV SÜD's conclusion on the achieved emission reductions. The CARs and CRs raised by TÜV SÜD are resolved during communication between the client and TÜV SÜD. To guarantee the transparency of the verification process, the concerns raised and responses that have been given are documented in detail in the List of Findings that is attached as Annex 1 to this report.

1.8 Internal Quality Control

Internal quality control within the team is assured by means of a technical review process that takes place after the on-site assessment and after closure of findings. The internal quality control in the verification process is given by the final decision (Verification and Certification Conclusion) made by the CB "Environment and Energy".

2 REPORTING REQUIREMENTS

In the following sections, the results of the verification are stated. The verification results relate to the project performance as documented and described in the final PDD and final Monitoring Report. The verification findings for each verification subject are presented below.

2.1 FARs from Validation / Previous Verification

The verification team confirms that all 5 FARs presented in the last verification reports have been correctly addressed by the PPs.

FAR 1: For all the parameters were additional to a calibration, specific verifications shall be done; it has to be ensured that for the coming monitoring periods the requirement of performing verifications is defined and respected without delay.

PP Response: We have analyzed this FAR carefully and found out that our Integrated Management System already assures that verifications are held on time. Last period’s delays were mostly related to the interpretation of the phrase “once a year” (meaning “one time every calendar year”) which was clarified when closing CARs 4th and 19th of the 2nd Verification Process. We are attaching the equipments’ supplier support letters, required to close the previous mentioned CARs, as an evidence for this FAR. The support letter files are attached under the following names:

- FL Smidth-Pfister letter.
- Foxboro letter.
- Hofferflow letter.
- Schenck letter.
- Tecfluid letter.

DoE Conclusion: DoE has checked during on site the veriification of the equipments and the related documents, Hence the FAR is closed.

FAR 2: For all monitoring equipment involved in the project activity a tag with at least the internal number and the SN has to be thoroughly fixed on the equipment and has to be accessible.

PP Response: In order to identify the monitoring equipment correctly, we coordinated with the Electric Maintenance Department to include tags for each meter containing information such as the internal code, serial number and model. Pictures of the equipment’s tags have been provided as evidence during the on-site visit and the on-site tour also confirmed the implementation of this FAR. We are attaching the meters’ tag pictures under the following file name:

- Meters’ tag pictures

DoE Conclusion: DoE has checked during on site the Tag of the equipments and the related documents, Hence the FAR is closed.

FAR 3: A revision of the monitoring plan shall be performed before the next use of petcoke in order to include the pet coke consumption parameter.

PP Response: There was no consumption of pet coke during the monitoring period. This was verified during the on-sit visit by reviewing the product’s purchase movements at the logistics sub-system of Celisistemas. The Celisistemas screen reviewed by the auditors during the onsite visit is attached as an evidence (attached “Petcoke Movements” file)

DoE Conclusion: No additional stock pile for pet coke has been identified visually during on-site visit. Additionally, the interviewed plant manager confirmed that no pet coke has been used in this monitoring period. Furthermore, all original plant data sheets have been checked by the audit team and it can be confirmed that the pet coke consumption was 0 in the crediting period. In the accounting department there was no record about purchase of petcoke. Hence, this FAR is closed for this crediting period.

FAR 4: Since for values indicated in original record there is 1 digit less than in excel file (systematical mistake), consistency needs to be provided for data presentation in all sources. Anyway, for this crediting period it can be confirmed that the correct figure from the original record has been taken for the calculation

PP Response: In order to avoid future omissions of decimal points or other similar writing mistakes we coordinated with our Production Manager and Production Secretary for them to alert the Production Operators to be careful at the moment where the counters raw data is consigned in the log sheets (“Reporte de Parámetros y Datos de Operación”). This point was coordinated in the meeting held with all the areas involved in the project activity where the final results of the second verification process were informed. Also, during the months following the before mentioned meeting, a detailed review of the information consigned to the “Reporte de Parámetros y Datos de Operación” was performed by the Export’s Department at the end of each day in order to assure the implementation of this FAR. It is evidence of the implementation of this FAR, the “Reporte de Parámetros y Datos de Operación” raw data files, handled to the audit team during the on-site visit, in which the audit team can verify that the data was correctly consigned. Please also review the attached document “Second Verification Results’ Meeting Program” file as an evidence of the implementation of this FAR.

DoE Conclusion: DoE has checked during on site the related docuemnts, Hence the FAR is closed.

FAR 5: In the manually records the initial clinker production figure of the day (= begin of the shift) was partly not included, it has to be clarified how misleading of this information could result in wrong data. Anyway, for all cross checks done by DOE it was possible to identify the missing figure which was the last in the record of the previous day (end of the shift). Hence, the calculation was correctly done for this crediting period.

PP Response: In order to avoid misleading of information at the moment of gathering the raw data, we coordinated with our Production Manager and Production Secretary for them to alert the Production Operators to be careful at the moment where the counters raw data is consigned in the log sheets (“Reporte de Parámetros y Datos de Operación”) so even though the counter value at the end of a day is the same than the begging of the next day, still the operators are enforced to write them down again in order to avoid misleading of this information. This point was coordinated in the meeting held with all the areas involved in the project activity where the final results of the second verification process were informed. Also, during the months following the before mentioned meeting, a detailed review of the information consigned to the “Reporte de Parámetros y Datos de Operación” was performed by the Export’s Department at the end of each day in order to assure the implementation of this FAR. It is evidence of the implementation of this FAR, the “Reporte de Parámetros y Datos de Operación” raw data files, handled to the audit team during the on-site visit, in which the audit team can verify that the data was correctly consigned. Please also review the attached document “Second Verification Results’ Meeting Program” file as an evidence of the implementation of this FAR.

DoE Conclusion: During on site, DoE has interviewed the Production Manager and

Production Secretary, and checked the related documents, Hence the FAR is closed.

2.2 Project Implementation in accordance with the registered Project Design Document

The project is fully implemented according to the description presented in the registered PDD. The verifier confirms, through the visual inspection that all physical features of the proposed CDM project activity including data collecting systems and storage have been implemented in accordance with the registered PDD. The project activity is completely operational and the same has been confirmed on-site.

The difference between the values of the data and/or variables presented in the MR and the stated data in the registered PDD is not significant. The difference in the values does not lead to a substantial increment of the ERs in this period or in future periods in relation to the estimated in the registered PDD. Nevertheless, the ERs claimed during this monitoring period are significantly lower due to problems with the lack of Natural Gas supplying (by Calidda) and also because Union Andina de Cementos S.A.A has realized that burning Natural Gas in the clinker production has decreased the energy efficiency. On behalf of this, Union Andina de Cementos S.A.A has used a combination of fuels during this monitoring period in order to still produce clinker with good quality, leading in a lower consumption of Natural gas. Studies of the kilns behavior are being performed by Union Andina de Cementos S.A.A.

2.3 Compliance of the Monitoring Plan with the Monitoring Methodology

The monitoring plan is in accordance with the approved methodology applied by this CDM project activity. Neither a revision nor a deviation to the monitoring plan has been requested to the CDM Executive Board.

2.4 Compliance of the Monitoring with the Monitoring Plan

The monitoring has been carried out in accordance with the monitoring plan contained in the registered PDD. All parameters were monitored and determined as per the Monitoring Plan.

In order to comply with the methodology and monitoring plan requirements, PP has a strong quality management implemented; which was evidenced during the on-site visit. On this regards, in many cases the source of the data used for the ER calculations are based on the information available in the QM system. Nevertheless, during the site visit it was verified that the procedures used for gathering the raw data from actual sources and the transferring of it to the ER calculation file were properly implemented.

The verification of the parameters required by the monitoring plan is provided as follows:

Data / Parameter:	$FC_{PJ,NG,y}$ and 8002
Data unit:	Tonne/year
Description:	Quantity of natural gas used in the project plant in year “y”
Source of data used:	Monthly invoices issued by Calidda. Even though that currently the information gathered directly by the meters is managed by Calidda and the only raw data available by PP is the monthly invoice, during the verification on-site visit it was possible to review the raw data as Calidda provide it to the verification team.
Means of verification/Comments:	Values from the invoices are manually transferred to the ER calculation tool. This procedure has been verified. The verification team has cross checked the invoices from Calidda (which is the company that supplies the Natural Gas) with the ER calculation tool.

	<p>The team verified that the values used in the ER calculation tool (excel file) and reported in the MR are correct and the same as in the invoices. See IRL 93 and 105.</p> <p>The equipment used has been calibrated according to the requirements of the approved monitoring plan. However, the frequency of the verifications has not been performed according to the PDD, therefore, EB 52 Annex 60 has been positive applied. See IRL 105.</p>
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	<p>1)FC_{PJ,IC,y} and 8010</p> <p>2)FC_{PJ,NC,y} and 8011</p> <p>3)FC_{PJ,PC,y} and 8012 (See FAR 3).</p>
Data unit:	Tonnes
Description:	<p>1)Quantity of Imported Coal used in the project plant in year “y”</p> <p>2)Quantity of National Coal used in the project plant in year “y”</p> <p>3)Quantity of petcoke used in the project in year “y”</p>
Source of data used:	The paper records used were “Reporte de parámetros y datos de operación” (Production data and parameters’ report) and “Registro de Control de Operaciones” (Operational Control Records). Values from the papers records are transferred to the Excel file “Coal consumption adjustment.xls”.
Means of verification/Comments:	<p>The verification team performed a check on a random basis of the figures provided in the ER calculation tool with the figures in the file “Coal consumption adjustment.xls”.</p> <p>The estimation of the consumption of each coal is performed in several steps.</p> <p>First, the amount of coal fed to the PH together with the % of each coal fed, is manually recorded by the operators in the “Operational Control Records” file. Then, values from the “Operational Control Records” are transferred to “Solid fuel analysis” excel file and the amount of each coal fed is adjusted in said file deducting the moisture of each coal.</p> <p>The moisture of each coal is recorded manually in paper records and then transferred to “Solid fuel analysis.xls”.</p> <p>“Solid fuel analysis.xls” and “Operational Control Records” have been positive reviewed. These two files are used to obtain the percentage of each coal fed to the PH as per the ER calculation tool.</p> <p>Third, the “Coal consumption adjustment.xls” is performed with the values gathered manually by the operators and recorded in “Production data and parameters’ report” which are then adjuted with a consumption factor in said excel file taking into account in a conservative approach, the stock balance and the figures provided by the Pfister scales. In “Production data and parameters’ report” the operators register manually the amount of clinker produced and the quantity of each fossil fuel used. These two files have been positive reviewed. These files are used to obtain the total solid fuel fed to the Kilns.</p> <p>The quantity of each solid fuel used in the project plant is calculated (as per the ER calculation tool) multiplying the total solid fuel fed to the kilns by the percentage of each fuel fed to the PH.</p> <p>There was no consumption of petcoke for this monitoring period.</p> <p>See IRL 64, 95, 96 and 105</p>
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	FC _{PJ,FO,y} and 8013
Data unit:	Tonne
Description:	Quantity of Fuel Oil used in the project plant in year “y”.
Source of data used:	“Reporte de parámetros y datos de operación” (Production data and

	parameters' report).
Means of verification/Comments:	The verification team performed a check of the figures provided in the in the ER Excel file with the figures in Production data and parameters' report. No discrepancies were found. See IRL 95 and 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	FC _{PJ,D,y} and 8014
Data unit:	Tonne
Description:	Quantity of Diesel used in the project plant in year "y"
Source of data used:	"Registro de Medición de niveles de tanques de combustibles PI6 y Diesel B2" paper records. "Saldos combustibles" (fuel balance) yearly excel files.
Means of verification/Comments:	A system based in a rule, is used to determine the volume changes in the diesel tanks. The changes in the rule are registered manually in paper records and then are transferred to the excel file "Saldos combustibles" registry. The verification team performed a check on a random basis of the figures provided in the in the ER Excel file with the figures in "Saldos combustibles" (fuel balance) yearly excel files. No discrepancies were found. Every delivery truck with Diesel is weighted and crosschecked with the invoices. Also, a anual inventory is performed were the consumption of this fuel is crosschecked with the invoices. The methodology states that the consumption of this fuel has to be measured using mass or volume meters. The registered PDD states that this parameter will be measured registering in a daily basis the level change in tanks where the Diesel is stored. Therefore, the monitoring of this parameter complies with the MP and the applied methodology. See IRL 2, 3, 61, 64, 105. The Standard API for the estimation of the Diesel density has also been reviewed on a previous verification period. See IRL 62.
Cross-check	The consumption of diesel is done for pre-heating the fuel oil pipeline. This consumption has been verified and found to be in accordance with the consumption of fuel oil. Therefore, the recorded figures can be considered to be fine.

Data / Parameter:	P _{clinker,y} and 8020
Data unit:	Tonne
Description:	Production of clinker in year "y"
Source of data used:	Paper records "Reporte de parámetros y datos de operación" and the Excel file "Reporte de producción".
Means of verification/Comments:	The operators register manually the amount of clinker produced and the quantity of each fossil fuel used in "Reporte de parámetros y datos de operación" paper record. The figures from "Reporte de parámetros y datos de operación" are manually transferred to "Reporte de producción.xls" and divided by the production factor (calculated every three months as per procedure I-DPR-010, version 01).The result is introduced in the ER calculation tool. This procedure has been verified by the audit team. The verification team performed a check on a random basis of the figures provided in the in the ER Excel file with the figures in "Reporte de parámetros y datos de operación" and "Reporte de producción" Excel file. See IRL 95, 99 and 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	NCV _{NC,y} and 8016
Data unit:	GJ/Tonne
Description:	Weighted average net calorific value of National Coal in year "y".
Source of data used:	Once a tally of national coal is received, a sample is taken, analysed in

	Union Andina de Cementos S.A.A laboratory and recorded in paper. Then, the values are transferred to an excel file "Evalua Carbon V2Rv2.xls". The methodology of sample analysis is ASTM D5865. See CR3.
Means of verification/Comments:	The figures in the ER calculation tool have been positive verified with the values provided in the Excel file "Evalua Carbon V2Rv2.xls". See IRL 103 and 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	NCV _{IC,y} and 8015
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of imported coal in year "y"
Source of data used:	Letter issued by C.I. Exportadora Interamerican Coal Colombia S.A. (the supplier) providing information on the net calorific value of the imported coal for the monitoring period.
Means of verification/Comments:	Values from the letter of the supplier are introduced in the ER calculation tool. This procedure has been verified. The ER calculation tool has been reviewed together with the letter from the coal supplier. No discrepancies have been found. See IRL 98 and 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	NCV _{NG,y} and 8003
Data unit:	GJ/tonne
Description:	Weighted average net calorific value of natural gas (less carbon intensive fuel) in year "y"
Source of data used:	Technical information letter provided by TGP (the natural gas transportation company).
Means of verification/Comments:	Values from the letter of the supplier are introduced in the ER calculation tool. This procedure has been verified by the audit team. The figures introduced in the ER calculation tool have been reviewed against the values provided in the letter from TGP. See IRL 100 and 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	EF _{CO2,NG,y} and 8004
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	Weighted average CO2 emission factor for natural gas (less carbon intensive fuel) in year y
Source of data used:	IPCC 2006 – Volume 2 – Chapter 1 – Table 1.4
Means of verification/Comments:	The verification team performed a check on a random basis of the figures provided in the in the ER Excel file with the figures in the IPCC Guidelines 2006. No discrepancies have been found. See IRL 33 and 116.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	EF _{CO2,IC,y} and 8005 EF _{CO2,NC,y} and 8006 EF _{CO2,PC,y} and 8007 EF _{CO2,FO,y} and 8008 EF _{CO2,D,y} and 8009
Data unit:	tCO ₂ /GJ
Description:	CO2 emission factor for Imported Coal (other bituminous coal). CO2 emission factor for National Coal (anthracite) CO2 emission factor for Pet Coke CO2 emission factor for Fuel Oil CO2 emission factor for Diesel
Source of data used:	IPCC 2006 – Volume 2 – Chapter 1 – Table 1.4
Means of verification/Comments:	The verification team performed a check on a random basis of the figures

verification/Comments:	provided in the in the ER Excel file with the figures in the IPCC Guidelines 2006. No discrepancies have been found. See IRL 27 and 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	1) $NCV_{FO,y}$ and 8017 2) $NCV_{PC,y}$ and 8018 3) $NCV_{D,y}$ and 8019
Data unit:	GJ/tonne
Description:	1)Weighted average net calorific value of imported coal in year “y” 2)Weighted average net calorific value of pet coke in year “y” 3)Weighted average net calorific value of Diesel in year “y”
Source of data used:	IPCC 2006 – Volume 2 – Chapter 1 – Table 1.2.
Means of verification/Comments:	The verification team performed a check on a random basis of the figures provided in the in the ER Excel file with the figures in the IPCC Guidelines 2006. No discrepancies have been found. See IRL 27 and 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	1) $EF_{NG,upstream,CH4}$ and 8026 2) $EF_{IC,upstream,CH4}$ and 8021 3) $EF_{NC,upstream,CH4}$ and 8022 4) $EF_{PC,upstream,CH4}$ and 8023 5) $EF_{FO,upstream,CH4}$ and 8024 6) $EF_{D,upstream,CH4}$ and 8025
Data unit:	tCH4/GJ
Description:	Emission factor for upstream fugitive methane emissions for: Natural gas, Imported Coal, National Coal, Pet Coke, Fuel Oil, Diesel
Source of data used:	Methodology ACM0003 /Version 05 and Revised 1996 IPCC Guidelines.
Means of verification/Comments:	The verification team performed a check on a random basis of the figures provided in the in the ER Excel file with the figures in the Methodolgy ACM003/Version 05. No discrepancies have been found. See IRL 2, 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	$EF_{CO2,BL,y}$ and 9006
Data unit:	tCO2/GJ
Description:	Carbon dioxide emissions factor for the fossil fuels displaced by the use of alternative fuels or less carbon intensive fossil fuels in the project plant.
Source of data used:	PDD, Methodology ACM0003 /Version 05 and IPCC Guidelines 2006
Means of verification/Comments:	The ER calculation tool has been reviewed. $EF_{CO2,BL,y}$ has been estimated as the lowest of the options given in the methodology. The emission factor calculated as option C (equation (15) of the methodology) has not been considered because the most likely baseline scenario has been determined to be F2 (and not F3). Therefore the lowest option (“A”) from options A and B has been chosen for the estimation of $EF_{CO2,BL,y}$. $EF_{CO2,BL,y}$ estimation as per option A of the methodology has been determined ex – ante in the registered PDD. $EF_{CO2,BL,y}$ estimation as per option B has been properly recalculated. The verification team reviewed the last version of the calculation tool. See IRL 2, 3, 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	1) $FC_{BL,IC,y}$ and 9021 2) $FC_{BL,NC,y}$ and 9022 3) $FC_{BL,PC,y}$ and 9023
--------------------------	--

	4) $FC_{BL,FO,y}$ and 9024 5) $FC_{BL,D,y}$ and 9025
Data unit:	Tonnes
Description:	1)Quantity of Imported Coal replaced by the use of natural gas 2)Quantity of National Coal replaced by the use of natural gas 3)Quantity of Imported Petcoke replaced by the use of natural gas 4)Quantity of Imported Fuel Oil replaced by the use of natural gas 5)Quantity of Diesel replaced by the use of natural gas
Source of data used:	These parameters have been correctly estimated in the ER calculation tool as per equation (22) of the applied methodology, ACM0003 / Version 05.
Means of verification/Comments:	The ER calculation tool has been reviewed. The verification team can confirm that these parameters are calculated in accordance with the applied methodology. See IRL 2 and 105.
Cross-check	N/A

Data / Parameter:	NG_d and 8001
Data unit:	Tonne/m ³
Description:	Weighted average density of natural gas (less carbon intensive fuel) in year “y”
Source of data used:	Maintenance Reports performed by Calidda.
Means of verification/Comments:	Values from the Maintenance Reports are manually transferred to the ER calculation tool. This procedure has been verified by the audit team. The verification team performed a check on a random basis of the figures provided in the in the ER Excel file with the figures from the Maintenance reports from Calidda. No discrepancies were found. See IRL 111 and 105.
Cross-check	N/A

2.5 Assessment of Data and Calculation of Greenhouse Gas Emission Reductions

All data has been available and all the parameters have been monitored in accordance with the registered monitoring plan.

The reported data have been cross-checked against other sources available as explained above in chapter 2.4.

The verifier confirms that the methods and formulae used to obtained the baseline, project and leakage emissions are appropriate. The same has been done in accordance with the methods and formulae described in the registered monitoring plan and applicable methodology.

The verifier confirms that the monitoring report includes all parameters and the monitored data at the intervals required by the methodology and PDD.

The verifier confirms that all the assumptions, emission factors and default values (ex-ante values from PDD) have been correctly justified. All the emission factors and default values are explicitly mentioned in the monitoring report.



Annex 1
List of Findings

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru

Page 1 of 18



Definitions contained in the Glossary of CDM terms and applied in the Standard	
Shall / Should / May	In addition to the definitions contained in the Glossary of CDM terms, the following terms apply in the VVS (VVS/10): <u>Shall</u> is used to indicate requirements to be followed; <u>Should</u> is used to indicate that among several possibilities, one course of action is recommended as particularly suitable; <u>May</u> is used to indicate what is permitted.
Credible	Information is credible if it is authentic and is able to inspire belief or trust, and the willingness of persons to accept the quality of evidence. (VVS/17)
Reliable	Information is reliable if the quality of evidence is accurate and credible and able to yield the same results on a repeated basis. (VVS/17)
CAR	The DOE shall raise a CAR if one of the following situations occur: (VVS/220) (a) Non-compliance with the monitoring plan or methodology are found in monitoring and reporting and has not been sufficiently documented by the project participants, or if the evidence provided to prove conformity is insufficient; (b) Modifications to the implementation, operation and monitoring of the registered project activity has not been sufficiently documented by the project participants; (c) Mistakes have been made in applying assumptions, data or calculations of emission reductions that will impact the quantity of emission reductions; (d) Issues identified in a FAR during validation to be verified during verification or previous verification(s) have not been resolved by the project participants.
CL	The DOE shall raise a CL if information is insufficient or not clear enough to determine whether the applicable CDM requirements have been met. (VVS/221)
FAR	The DOE shall raise a FAR during verification for actions if the monitoring and reporting require attention and/or adjustment for the next verification period. (VVS/223)

Compilation and Resolutions of CARs, CRs and FARs

Corrective Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	GPS co-ordinates	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 112
Requirement	PS para 202	
Corrective Action Request	<u>Corrective Action Request No.1</u> GPS Coordinates of kilns and regulation station given in the MR does not give the exact location of the project activity when DOE put the coordinates into Google Earth, please clarify.	
Response	The GPS Coordinates included in the MR are the same than the ones included in the final version of the MR for the Second Verification Period. Said coordinates were taken with a mobile device during the 2nd Verification's on-site visit. In order to avoid discrepancies between the	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru

Page 2 of 18



South Asia

Corrective Action Requests by the assessment team		
	<p>different ways of measurement and different values, we are herein establishing that from now onwards coordinates are been measured by using Google Earth and the points of measurement are the kilns' entrances (intersection with the pre-heater and pre-calciner for kiln I and kiln II, respectively) and the measurement station entrance. The location of the points of measurement have been identified with a mark in Google Earth Program of our computer under the names "kiln I", "kiln II" and "measurement station". The new coordinates for kiln I, kiln II and measurement station are as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kiln I: South: 12°11'35.8" – West: 76°54'20.74" ➤ Kiln II: South: 12°11'35.94" – West: 76°54'19.3" ➤ Measurement Station: South: 12°11'44.54" – West: 76°54'23.39" <p>We are attaching Google Earth's screen captures including the location of the defined measurement points and its respective coordinates (Please review attached document "GPS kilns and measurement station's coordinates").</p> <p>We have amended the corresponding MR including the updated coordinates.</p>	
Assessment Means of verification	PP has changed the coordinates in the revised MR which has been verified by the DOE, hence the issue is closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the revised MR.	

Corrective Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	Mismatch of PP name	<input checked="" type="checkbox"/>

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 3 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
Requirement	PS para 202	Finding Closed IRL 112
Corrective Action Request	<u>Corrective Action Request No.2</u> The entity identified as project participant is Cementos Lima S.A on the UNFCCC web page; however the same is not exactly consistent with the monitoring report section A.8. Please clarify.	
Response	The company and its legal personality are the same; however in June 2011, has only adjusted its legal form to “sociedad anónima abierta” and therefore has changed its name from Cementos Lima S.A. to Cementos Lima S.A.A. This change in the legal form (not legal entity) is a requirement of Peruvian Law and has to do with the number of outstanding shareholders. After that, on August 2012, the company change its legal name again from Cementos Lima S.A.A. to Union Andina de Cementos S.A.A. – UNACEM, it is worth mentioning that the company’s legal personality remains the same. As per UNFCCC procedures, this change in the name of the company requires the issuance of a new Letter of Approval from the Peruvian DNA together with the submission of the F-CDM-MOC forms throughout the UNFCCC web page. Please find attached as support documents the two DNA letters: “DNA Letter Cementos Lima S.A.A”, “DNA Letter UNACEM” “F-CDM-MOC Form signed by EDF and UNACEM” and “F-CDM-MOC form approved for project 1902 BY UNFCCC e-mail”, respectively.	
Assessment Means of verification	Explanation given by PP regarding the change on name seems to be fine, but the issue could not be closed because the name in MR is still not consistent with the UNFCCC website, PP needs to submit the revised MoC and documents to UNFCCC directly through their focal point.	
Response	Please find attached the email and revised MoC submitted to UNFCCC. Also, please see the confirmation received from UNFCCC regarding the change of name.	
Assessment Means of verification	DoE has checked the change of name application, and also the same has been confirmed from the UNFCCC website, Hence the finding is closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the revised MR.	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru

Page 4 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	Calibration/Verification Issue	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 113, 114, 115, 116, 117, 118
Requirement	PS para 56 f	
Corrective Action Request	<p><u>Corrective Action Request No.3</u></p> <p>As per the registered PDD, Verification frequency is once a year, but there is the delay in yearly verification for the weighing scales Model No. 452BO1, 452BO2, and 452BO3. Please clarify.</p>	
Response	<p>This point was review, explained and closed in CARs 4th and 19th of the 2nd Verification Process. Verification frequency of Pfister scales is “once a year” meaning “one time every calendar year”. We are attaching the letter from the supplier FLSmidth Pfister Ltda., which was already handled to the DOE during the 2nd Verification Period and used to close the mentioned 2nd Verification CARs, confirming that the verification frequency of “once a year” meaning “one time every calendar year” is correct for our process. (attached “FLSmidth Pfister letter” file).</p> <p>Considering the explanation above, there is no delay related to the verification frequency of any Pfister weighing scales during the 3rd verification period.</p>	
Assessment Means of verification	<p>The letters from the suppliers (Shenck, FLSmidth Pfister, TecFluid) have been reviewed by the verification team, confirming that the equipment manufacturers do not include in their equipments’ brochure/catalogue instructions concerning the calibration frequency, however, the letters inform that a calibration frequency of once a year for the equipment aforementioned is appropriate. In addition, the manufacturers explicitly interpret the calibration frequency of “once a year” as “one time every calendar year” and they clearly state in the letter that said frequency is “correct” for the specific conditions in which the equipment operates at the burning process of Cementos Lima. Considering the manufacturers’ letters, there is no doubt that the applied frequency of “once a year” is understood as “one time every calendar year” and hence it can be considered entirely consistent with the registered PDD and with the actual performance.</p> <p>Closed</p>	
Changes in the monitoring report or	No change in MR.	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 5 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
supporting annexes		

Corrective Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	Calibration Issue	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118
Requirement	PS para 56 f	
Corrective Action Request	<p>Corrective Action Request No.4 Generally: the calibration dates for all monitoring parameters does not cover the complete monitoring period. The information shall be included in the MR including an explanation on how the EB 52 Annex 60 requirements are complied with, in any case of delay.</p> <p>Also mention the calibration dates and the verification dates for the whole of the monitoring period in the monitoring report section D for each applicable parameter.</p>	
Response	<p>The equipments linked to this CAR in the monitoring report are the following:</p> <ol style="list-style-type: none"> For fuel oil consumption, meters S/N 0325903 & S/N 95893: Is the same case as CAR 3. This point was review, explained and closed in CARs 4th and 19th of the 2nd Verification Process. Calibration frequency is “once a year” meaning “one time every calendar year”. Therefore, there is no delay related to the calibration frequency of these two meters. Please find attached the suppliers’ support letters under “Tecfluid letter” file and “Hofferflow letter” files. For raw meal consumption, meters S/N BME 0007 & S/N BME 0044: It is also the same case as CAR 3. This point was review, explained and closed in CARs 4th and 19th of the 2nd Verification Process. Calibration frequency is “once a year” meaning “one time every calendar year”. Therefore, there is no delay related to the calibration frequency of these two meters. Please find attached the supplier support letter under “Schenck letter” file. For measurement of the Net Calorific Value of National Coal, calorimeter S/N 	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 6 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team

2.8/KG5182492: As indicated in CAR 6 herein, the calibration frequency of the calorimeter that measures the net calorific value of national coal shall be calibrated every six months as per the equipment Internal Identification Sheet. However, in the day by day operations, the calibration frequency was understood as “every six months approximately” instead of “every six months exactly”, that is the reason why there was a delay of 16 days when performing the calibration corresponding to the month of December 2010; the calibration should have been performed on December 14th, 2010 instead of December 30th, 2010. It is also important to mention that the calibration frequency of this equipment is not mentioned in the registered PDD; what it is mentioned is that Cementos Lima’s laboratory operates under the conditions of ISO9001 and regularly participates in the test accuracy comparison program held by the Cement and Concrete Reference Laboratory (CCRL), obtaining very high scores, thus complying with quality standards similar to ISO17025. We have amended the MR by changing the calibration frequency to “every six months” instead of “every six months approximately”. Also, and even though the PDD does not mention the calibration frequency for this equipment due to the reasons explained lines above, we have proceed to adjust the calculation considering the EB 52 Annex 60 requirements. The uncertainty of the calorimeter used to adjust the Gross Calorific Value (GCV) measured by the equipment is 4.75 cal/g (attached: “Calorimeter Uncertainty” file). Based on the uncertainty value and the former GCV measured, we have proceeded to adjust the GCV and based on that change we also adjusted the Net Calorific Value (NCV) corresponding to the composite sample of November 2010 which is used for the December 2010 calculations. The adjustments are calculated in the attached file “GCV & NCV adjusted”. We have replaced the NCV value adjusted on the parameter 7509 of the ER calculation, from December 14th 2010 (first day of delay) to December 31st 2010 (last day for which the former value was considered). Please verify these changes on the ER calculation file “ER calculation V2Rv5 CDM # 1902 - 3^o Periodical Verification” attached.

- 4. For measurement of the diesel consumption:** The equipment that measures the diesel consumption does not have calibrations but maintenance verifications. Also for this equipment, the maintenance verification frequency is again “once a year” meaning “one time every calendar year”. Besides the maintenance verification frequency of this equipment is not mentioned in the registered PDD. Therefore, there is no delay related

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 7 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
	to the equipment's maintenance verification frequency during the monitoring period.	
Assessment Means of verification	<p>1 For fuel oil consumption, meters S/N 0325903 & S/N 95893: The letters from the suppliers (Tecfluid letter" file and "Hofferflow letter) have been reviewed by the verification team, confirming that the equipment manufacturers do not include in their equipments' brochure/catalogue instructions concerning the calibration frequency, however, the letters inform that a calibration frequency of once a year for the equipment aforementioned is appropriate. closed</p> <p>2 For raw meal consumption, meters S/N BME 0007 & S/N BME 0044: The letters from the suppliers (Schenck letter) have been reviewed by the verification team, confirming that the equipment manufacturers do not include in their equipments' brochure/catalogue instructions concerning the calibration frequency, however, the letters inform that a calibration frequency of once a year for the equipment aforementioned is appropriate. closed</p> <p>3 For measurement of the Net Calorific Value of National Coal, calorimeter S/N 2.8/KG5182492: PP has made the correction in the calculation based on the delayed calibration, the same has been checked as per EB 52 Annex 60, and the issue is closed.</p> <p>4 For measurement of the diesel consumption: The explanation given by PP is found satisfactory, hence the issue is closed.</p>	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the revised MR.	

Corrective Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	Calibration Issue	<input checked="" type="checkbox"/>

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 8 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
Requirement	PS para 56 f	Finding Closed IRL 112
Corrective Action Request	<u>Corrective Action Request No.5</u> Calibration date is not matching between the certificate and MR (for all the three calibration certificates). Please clarify.	
Response	The equipment that measures the diesel consumption does not have calibrations but maintenance verifications. There was a mistake when interpreting the dates of said maintenance verifications as we were including the date when the maintenance verification was requested by the corresponding area instead of the date when the maintenance verification was actually performed and concluded (both dates appear in the documents). From now onwards we will include as valid dates the ones when the maintenance verifications are concluded. For this verification period the valid dates are as follows: 21/08/2009, 13/11/2010, 29/10/2011 Please verify said dates in the maintenance verification documents handled to the audit team during the on-site visit. The MR has been amended including the above mentioned valid dates for the parameter #8014.	
Assessment Means of verification	Given explanation by PP is found satisfactory, it was verified during the site audit that there were the mistake in the reporting as in some place it was mentioned as the date of 'verification requested' and in some places it was mentioned as the date of 'verification completed'. PP has now mentioned the date in MR when the verification were conducted, hence the issue is closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the revised MR.	

Corrective Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 9 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
Issue	Calibration Error	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 112
Requirement	PS para 56 f	
Corrective Action Request	<p><u>Corrective Action Request No.6</u> Calibration of calorimeter is mentioned as 6 months as per the equipment specifications but it is not done exactly on 6 months frequency, please clarify.</p>	
Response	<p>The calibration frequency of the calorimeter that measures the net calorific value of national coal shall be calibrated every six months as per the equipment Internal Identification Sheet. However, in the day by day operations, the calibration frequency was understood as “every six months approximately” instead of “every six months”, that is the reason why there was a delay of 16 days when performing the calibration corresponding to the month of December 2010; the calibration should have been performed on December 14th, 2010 instead of December 30th, 2010.</p> <p>It is also important to mention that the calibration frequency of this equipment is not mentioned in the registered PDD; what it is mentioned is that Cementos Lima’s laboratory operates under the conditions of ISO9001 and regularly participates in the test accuracy comparison program held by the Cement and Concrete Reference Laboratory (CCRL), obtaining very high scores, thus complying with quality standards similar to ISO17025.</p> <p>We have amended the MR by changing the calibration frequency to “every six months” instead of “every six months approximately”.</p> <p>Also, and even though the PDD does not mention the calibration frequency for this equipment due to the reasons explained lines above, we have proceed to adjust the calculation considering the EB 52 Annex 60 requirements. The uncertainty of the calorimeter used to adjust the Gross Calorific Value (GCV) measured by the equipment is 4.75 cal/g (attached: “Calorimeter Uncertainty” file). Based on the uncertainty value and the former GCV measured, we have proceeded to adjust the GCV and based on that change we also adjusted the Net Calorific Value (NCV) corresponding to the composite sample of November 2010 which is used for the December 2010 calculations. The adjustments are calculated in the attached file “GCV & NCV adjusted”. We have replaced the NCV value adjusted on the parameter 7509 of the ER calculation, from December 14th 2010 (first day of delay) to December 31st 2010 (last day for which the former value was considered). Please verify these changes on the ER calculation file “ER</p>	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 10 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
	calculation V2Rv5 CDM # 1902 - 3 ^o Periodical Verification” attached.	
Assessment Means of verification	PP has deducted the error percentage to adjust the calculation as per the EB 52 Annex 60 requirements. The uncertainty of the calorimeter used to adjust the Gross Calorific Value (GCV) measured by the equipment is 4.75 cal/g. Based on the uncertainty value and the former GCV measured, PP have proceeded to adjust the GCV and based on that change PP has also adjusted the Net Calorific Value (NCV) corresponding to the composite sample of November 2010 which is used for the December 2010 calculations. The adjustments are calculated in the excel file “GCV & NCV adjusted”. PP have replaced the NCV value adjusted on the parameter 7509 of the ER calculation, from December 14th 2010 (first day of delay) to December 31st 2010 (last day for which the former value was considered). The calculations were found to be appropriate and hence the issue is closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the revised MR.	

Corrective Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	ER Calculation	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 112
Requirement	PS para 194	
Corrective Action Request	<u>Corrective Action Request No.7</u> There is a need to explain in section E.5 of monitoring report that how the figure for emission reduction calculation according to the PDD has been calculated, since it is not consistent with the figure in the registered PDD.	
Response	As the PDD reported full calendar year’s estimations and this monitoring period covers 4 months of the year 2010 and 8 months of the year 2011, we have calculated the figure under “ Values applied in ex-ante calculation of the registered CDM-PDD ” of section E5 of the MR by prorating 4 months for the year 2010 (based on PDD estimations for year 2010) plus 8	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 11 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
	<p>months for the year 2011 (based on PDD estimations for year 2011).</p> <p>A note including an explanation of how the figure has been obtained has been included in section E5 of MR.</p>	
Assessment Means of verification	<p>The estimated value has been calculated based on the estimations reductions included in section B.6.4 of the registered PDD. PP have calculated the ER for 4 months for the year 2010 (based on PDD estimations for year 2010) plus 8 months for the year 2011 (based on PDD estimations for year 2011).</p> <p>MR has been revised accordingly and checked by the DOE, hence the issue is closed.</p>	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the revised MR.	

Corrective Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	Error in Calculations	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 33
Requirement	PS para 193	
Corrective Action Request	<p><u>Corrective Action Request No.8</u></p> <p>The values mentioned in the monitoring report section D.2 are not fully consistent with the one's mentioned in the excel file folder "final calculations".</p>	
Response	<p>As explained during the on-site visit, when transferring the values from the ER calculation tool (final calculations sheet) to the Monitoring Report, we have cut the number of decimals reported as per request of the DOE during the second verification period. When cutting the number of decimals we applied again conservative rounding criteria besides the criteria already applied in the ER calculation tool. As per agreed during the on-site visit, in order to avoid the different readings between the values reported by the ER against the ones transferred to the MR, from now onwards, we will maintain in the MR the exact numbers (including decimal val-</p>	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 12 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
	ues) as the ones reported by the ER calculation tool . The MR has been amended accordingly.	
Assessment Means of verification	There was the decimals error during the transferring of values from excel sheet to MR, PP has now corrected the error and revised MR has been checked and verified by the DOE, the values are now consistent, the issue is now closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	No changes in MR.	

Corrective Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	Error in Monitored data	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 112
Requirement	PS para 194	
Corrective Action Request	<u>Corrective Action Request No.9</u> IPCC guidelines table is not correctly mentioned in MR section D.2., please clarify.	
Response	In section D.2 of the MR for some parameters where the source of data is “IPCC 2006 – Volume 2 – Chapter 1 – <u>Table 1.2</u> ” (table of default values for NCV) it was wrongly mentioned as “IPCC 2006 – Volume 2 – Chapter 1 – <u>Table 1.4</u> ” (table of default values for Emission Factors). The MR has been modified accordingly and tables are described properly according to the data they provide.	
Assessment Means of verification	PP has corrected the IPCC values in the revised MR, the issue is now closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the revised MR.	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru

Page 13 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team																																		
	Comments and Results				Conclusion and IRL																													
Issue	Shut Down Period				<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 112																													
Requirement	PS para 202																																	
Corrective Action Request	<u>Corrective Action Request No.10</u> Plant shut down/overhaul period mentioned in the section B.1 of monitoring report is not consistent with the plant records.																																	
Response	<p>As explained during the on-site visit and as mentioned under section B.1 of the MR, said section includes the overhauls and “<u>relevant</u> stops” of the project activity operation that took place during the monitoring period.</p> <p>In order to avoid misunderstandings related to the meaning of “<u>relevant</u> stops”, we are herein defining them as the stops that imply at least one day (considering the daily plant shifting schedule) without production of clinker.</p> <p>In addition and as per mentioned in the Desk Review held on December 12th, 2011, we wrongly included under “Kiln II” table of this section B.1 of monitoring report, four stops that do not belong to this monitoring period (they took place before the beginning of the current monitoring period). The mentioned stops are the first four ones reported for said kiln and are as follows:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">BEGINNING</th> <th colspan="2">END</th> <th rowspan="2">CAUSE OF THE STOP</th> </tr> <tr> <th>DATE</th> <th>TIME</th> <th>DATE</th> <th>TIME</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>08/01/2010</td> <td>00:17</td> <td>18/01/2010</td> <td>23:24</td> <td>REFRACTORY MAINTENANCE</td> </tr> <tr> <td>24/02/2010</td> <td>20:38</td> <td>26/02/2010</td> <td>10:00</td> <td>CHANGE OF THE COOLER'S PLATES</td> </tr> <tr> <td>31/03/2010</td> <td>05:03</td> <td>03/04/2010</td> <td>18:30</td> <td>PROGRAMMED STOP-MECHANICAL MAINTENANCE</td> </tr> <tr> <td>29/06/2010</td> <td>21:08</td> <td>05/07/2010</td> <td>00:10</td> <td>REFRACTORY MAINTENANCE</td> </tr> </tbody> </table> <p>We have withdrawn these stops from “Kiln II” table under section B.1 of the MR.</p>					BEGINNING		END		CAUSE OF THE STOP	DATE	TIME	DATE	TIME	08/01/2010	00:17	18/01/2010	23:24	REFRACTORY MAINTENANCE	24/02/2010	20:38	26/02/2010	10:00	CHANGE OF THE COOLER'S PLATES	31/03/2010	05:03	03/04/2010	18:30	PROGRAMMED STOP-MECHANICAL MAINTENANCE	29/06/2010	21:08	05/07/2010	00:10	REFRACTORY MAINTENANCE
BEGINNING		END		CAUSE OF THE STOP																														
DATE	TIME	DATE	TIME																															
08/01/2010	00:17	18/01/2010	23:24	REFRACTORY MAINTENANCE																														
24/02/2010	20:38	26/02/2010	10:00	CHANGE OF THE COOLER'S PLATES																														
31/03/2010	05:03	03/04/2010	18:30	PROGRAMMED STOP-MECHANICAL MAINTENANCE																														
29/06/2010	21:08	05/07/2010	00:10	REFRACTORY MAINTENANCE																														
Assessment Means of verification	PP has corrected the shut down details in the revised MR, the same was verified by DOE during site visit with the plan log book, and hence the issue is closed .																																	
Changes in the monitoring report or	PP has submitted the revised MR.																																	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 14 of 18



Corrective Action Requests by the assessment team		
supporting annexes		
Clarification Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	Capacity Addition	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 33
Requirement	PS para 221	
Clarification Request	<p><u>Clarification Request No. 1</u></p> <p>According to "Informe al segundo trimestre 2011 report Cementos Lima" an EIA has been performed and approved for a capacity extension. It seems that capacity of the project activity is going to be extended, Please clarify.</p>	
Response	In fact, the Environmental Impact Study for the Atocongo Plant Extension Project has been presented to the Ministry of Production and was approved by this entity during the second quarter of 2011. This extension project implies a capacity increase of 1 million metric tons of clinker (approximately) of line I production process. The kiln I stoppage for the assembly of the equipment/machinery is at this moment programmed for the second half of 2012 and it is estimated that will last at least six months.	
Assessment Means of verification	There is no capacity extension for this monitoring period, the same was discussed and verified during site visit, and hence the issue is closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	No changes in MR	

Clarification Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 15 of 18



Clarification Requests by the assessment team		
Issue	Uncertainty Level	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 112
Requirement	PS para 56e	
Clarification Request	<p><u>Clarification Request No. 2</u></p> <p>The uncertainty level is not mentioned in the MR, please provide the supporting documents for the same and mention the same in the MR.</p>	
Response	<p>We have amended section D2 of the MR by including the uncertainty levels for all monitoring equipment. The uncertainty level support documents are attached under the following names:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ultrasonic Meter specs and uncertainty level. ➤ Schenck scale EQ-DC26 specs and uncertainty (UNTIL 29.09.10). ➤ Schenck scale EQ-DC26 uncertainty (from 30.09.10). ➤ Sartorius scale EQ-DC20 specs and uncertainty ➤ Pfister Scales General Specs and Uncertainty. ➤ Tec Fluid-Covol specs and uncertainty (451QH2PFI1, 451QH2PFI1). ➤ Uncertainty Foxboro equipment 453FIR1. ➤ Tec Fluid-Covol specs and uncertainty (453FIR2). ➤ HOFFER-HIT 2A specs and uncertainty (453FR8). ➤ Diesels' tanks measurement system specs and uncertainty. ➤ Schenck raw meal scales uncertainty (411BL1, 411BL2, 412BL1, 412BL2). ➤ Calorimeter uncertainty. ➤ Chromatograph uncertainty 	
Assessment Means of verification	PP has mentioned the uncertainty level in section D.2 of MR, the same has been checked with the submitted supporting documents, hence the issue is closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the revised MR.	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 16 of 18



Clarification Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	Source of data is not clear	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 112
Requirement	PS para 195 d	
Clarification Request	<p><u>Clarification Request No. 3</u></p> For the parameter, FCPJ,NG,y – ‘source of data’ is not clear and transparent in section D.2 of monitoring, please clarify.	
Response	“Source of data” information related to the parameter FCPJ,NG,y (#8002), has been amended in section D.2 of the Monitoring Report in order to make it clearer. The wording related to the monthly raw data download performed according to the Raw Data Download Protocol (please review FAR 1 of the First Verification Protocol) has been withdrawn from “source of data” and included under “QA/QC procedures applied”.	
Assessment Means of verification	PP has elaborated the section D.2 of the monitoring report for the parameter FCPJ,NG,y, same is found acceptable to DOE, the issue is closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the revised MR.	

Clarification Requests by the assessment team		
	Comments and Results	Conclusion and IRL
Issue	Mismatch of Calibration Date	<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL 44
Requirement	PS para 56 f	
Clarification Request	<p><u>Clarification Request No. 4</u></p> In the verification report of Second verification, calibration date of meter (Serial number:	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 17 of 18



Clarification Requests by the assessment team		
	0425968) was mentioned as 19/07/2010 while in the MR page 17 of third verification, the same is mentioned as 16/07/2010, kindly clarify.	
Response	The Calibration Certificate N° CV-044-2010 reports two different dates: The first one is the date when the Calibration Certificate was issued (19/07/2010) and the second one is the date when the equipment's calibration was actually performed (16/07/2010). The correct date to be con-signed is the date when the equipment's calibration was actually performed (16/07/2010). Therefore, the calibration date included on the third verification Monitoring Report is valid and the one included in the former period's Monitoring Report is not accurate. We are attaching the Calibration Certificate N° CV-044-2010 for your review (attached "CV-044-2010" file).	
Assessment Means of verification	PP has corrected the date of calibration as per the calibration conducted, earlier it was mentioned as the date of calibration when the same service was requested, in order to keep the consistency, there is now the date of calibration conducted in the whole MR for every parame-ters, hence the issue is closed .	
Changes in the monitoring report or supporting annexes	PP has submitted the Calibration Certificates.	

Forward Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	
Issue		<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL xx
Requirement		
Forward Action Re-quest	<p><u>Forward Action Request No. 1</u></p> <p>A revision of the monitoring plan shall be performed before the next use of petcoke in order to include the pet coke consumption parameter.</p>	

List of Findings - Compilation and Resolutions

Project Title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline
Extension, Cementos Lima, Peru

Page 18 of 18



South Asia

Forward Action Requests by the assessment team		
Response	A revision of the monitoring plan will be performed before the next use of petcoke.	
Means of verification	Will be checked by the verifying DOE in next verification.	
Any resulting changes in the monitoring report or supporting annexes	No	

Forward Action Requests by the assessment team		
	Comments and Results	
Issue		<input checked="" type="checkbox"/> Finding Closed IRL xx
Requirement		
Forward Action Request	<p><u>Forward Action Request No. 2</u></p> <p>The monitoring data processing for #3 monitoring period is according to the MR. However, the system of the tool "Celesistemas" created by the IT department of the PP needs to be explained in more detail. The procedure of data processing needs to be explained in more detail in terms of roles and responsibilities for the different tasks of data processing</p>	
Response	The procedure of data processing will be explained in more detail during the next on-site visit.	
Means of verification	Will be checked by the verifying DOE in next verification.	
Any resulting changes in the monitoring report or supporting annexes	No	



Annex 2
Information Reference List

Project title: Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru


Interviewed Persons during onsite assessment:

Name	Function	Company
Ms. Jacqueline Salem	Head of Exports	Union Andina de Cementos S.A.A.
Juan Romera	Superintendent Maintenance	Union Andina de Cementos S.A.A.
Emilio Palacio	Production Manager	Union Andina de Cementos S.A.A.
Mónica Paucar	Export Assistant	Union Andina de Cementos S.A.A.
Jorge Ríos	Electric maintenance department;	Union Andina de Cementos S.A.A.
Franklin Silva	Scada and communication supervisor	Cálidda,
Jaime Bostaruante	Corporate Development Manager	Union Andina de Cementos S.A.A.
Edgar Isla	Electric maintenance department;	Union Andina de Cementos S.A.A.

Other Interviewed Persons (not during onsite assessment):


Name	Function	Institution/Company	Date of Interview

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
1.	UNFCCC Webpage	“Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru” http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1214842761.22/view		
2.	UNFCCC	Approved baseline and monitoring methodology ACM0003; “Emissions reduction through partial substitution of fossil fuels with alternative fuels or less carbon intensive fuels in cement manufacture” version 05 and version 7.2		
3.	PP	PDD: “Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru”, version 02, dated on 16/04/2008.		
4.	DNV	Validation Report “Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru”, No. 2007-4550, revision No. 011, dated on 05/05/2008.		
5.	PP	CDM MONITORING REPORT. 3 rd MONITORING PERIOD: 01/09/2010-31/08/2011. Project “Fuel Switching at Atocongo Cement Plant and Natural Gas Pipeline Extension, Cementos Lima, Peru”. pdf file. Version 1, Revision 1. Preparation date 24/09/2010.	Issued on 31/10/2011	First publicly available Monitoring Report (MR)
6.	PP	“ER Calculation V1 R1 CMD Monitoring from 01/09/2010-31/08/2011.	Issued on 31/10/2011	First publicly available ER calculation tool.
7.	PP	GF031-Rev 9 Flowchart Cement Production; pdf file.	Reviewed during on site	
8.	PP	Drawing No. PY-1580, revision 1, scale 1:1,000, code 442HR1-AO-; dated 27/04/2006; “Quemadores de GN – Linea I y II – Plano de ubicación –“ (Natural Gas Burners – Line I and II – Location drawing -).	Reviewed during on site	Project Implementation
9.	GyM S.A. Redes Industriales de Gas	Drawing “Suministro de gas a Cementos Lima km 00+000.00 al km 01+000.00” (Provision of gas to Cementos Lima km 00+000.00 al km	Reviewed during on site	Project Implementation

Information Reference List	Verification of CDM Project	Page 3 of 16	 South Asia
----------------------------	-----------------------------	-----------------	---


Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
		01+000.00), code CL-00-01, scale 1:250, revision 3, dated 02/01/2006, approved by Cálidda (Gas Natural de Lima y Callao S.R.L.).		
10.	GyM S.A. Redes Industriales de Gas	Drawing "Suministro de gas a Cementos Lima km 02+000.00 al km 03+000.00" (Provision of gas to Cementos Lima km 02+000.00 al km 03+000.00), code CL-00-03, scale 1:250, revision 3, dated 02/01/2006, approved by Cálidda (Gas Natural de Lima y Callao S.R.L.).	Reviewed during on site	Project Implementation
11.	Cálidda	Drawing "Plano de linea gasoducto acero Cementos Lima" (Drawing of steel gas pipeline Cementos Lima), revision -, dated 08/03/2006, scale 1:75,000.	Reviewed during on site	Project Implementation
12.	PP	Organizational Structure for the CDM Project Activity.	Reviewed during on site	
13.	Gas Natural de Lima Callao S.R.L. (Cálidda). CemL	"Contrato de servicio de transporte interrumpible de gas natural via la red principal de distribución" (Interruptible natural gas transport service contract via the main distribution line) between Gas Natural de Lima y Callao S.R.L. and Cementos Lima S.A., dated 10/06/2005; and first adendum dated 11/12/2007; and second adendum dated 29/09/2008.	Reviewed during on site	
14.	Cálidda PP	"Contrato de servicio de transporte firme de gas natural via la red principal de distribución" (Firm natural gas transport service contract via the main distribution line) between Gas Natural de Lima y Callao S.R.L. and Cementos Lima S.A., dated 11/12/2007; and first adendum dated 29/09/2008.	Reviewed during on site	
15.	Transportadora de Gas del Peru S.A. PP	"Contrato de servicio de transporte interrumpible de gas natural" (Interruptible natural gas transport service contract) between Transportadora de Gas del Peru S.A. and Cementos Lima S.A., dated 10/06/2005; and first adendum dated 29/05/2006; second adendum dated 11/06/2007; third adendum dated 10/12/2007; and fourth adendum 22/08/2008.	Reviewed during on site	
16.	Transportadora de	"Contrato de servicio de transporte firme de gas natural" (Firm natural gas	Reviewed during on site	

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
	Gas del Peru S.A. PP	transport service contract) between Transportadora de Gas del Peru S.A. and Cementos Lima S.A., dated 11/06/2007; and first adendum dated 22/08/2008.		
17.	See next column	“Contrato de suministro exclusivo de gas natural” (Exclusive natural gas supply contract) between Pluspetrol Peru Corporation S.A., Pluspetrol Camisea S.A., Hunt Oil Company of Peru L.L.C. - Peru department, SK Corporation –Peru Department, Sonatrach Peru Corporation S.A.C., Tecpetrol del Peru S.A.C., Repsol Exploration Peru – Peru Department; and Cementos Lima S.A., dated 17/01/2006; and first adendum dated 28/06/2006; and second adendum dated 24/01/2008.	Reviewed during on site	
18.	PP	Manual de Gestión (Management Manual), code MA-GG-001, version 12, dated 16/01/2009.	Reviewed during on site	
19.	PP	Technical information of kilns.	Reviewed during on site	
20.	FLSmith	Duoflex burner for Cementos Lima S.A., commercial conditions and data sheet, dated 17/08/2005. Information for Kiln No. 1.	Reviewed during on site	Project implementation
21.	FLSmith	Duoflex burner for Cementos Lima S.A., commercial conditions and data sheet, dated 14/09/2004. Information for Kiln No. 2.	Reviewed during on site	Project implementation
22.	PP	“Plan de Calidad” (Quality Plan), code PC-SGP-006, revision 01. “Monitoring of CO2 Emission Reductions”. PC-SGP-006	Reviewed during on site	Version 01
23.	Cálidda PP	“Acta de recepción definitiva” (Definitive reception note) between Cálidda and Cementos Lima dated on 13/01/2006.	Reviewed during on site	
24.	Ministry of Energy and Mining “Minem”	National legislation of Peru www.minem.gob.pe	-	The link cannot be opened temporarily. Anyway, the information is not vital

Information Reference List	Verification of CDM Project	Page 5 of 16	 South Asia
----------------------------	-----------------------------	-----------------	---

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
				for the audit team.
25.	Elster Instromet	Q.Sonic brochure. Specification of Q.Sonic-3C	Reviewed during on site	
26.	PP Cálidda	“Contrato llave en mano” (Provision Contract) between Cementos Lima S.A. and Gas Natural de Lima y Callao S.R.L. (Cálidda) dated on 22/06/2005.	Reviewed during on site	
27.	IPCC	Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2. Stationary Combustion.	Issued on 2006	
28.	PP	Internal physical inventory “Memorandum Aud. 12.25/06”, dated on 27/12/2006, “Memorandum 12.14/07” dated on 27/12/2007, and “Memorandum 12.12/08” dated on 24/12/2008.	Reviewed during on site	Not consumption of PC confirmation
29.	PP	Work instruction “Cálculo de relación crudo clinker en un horno” (Raw meal clinker relation calculation in a kiln), code: I-DPR-010, version 01.	Reviewed during on site	Clinker production calculation instruction
30.	Techfluid and Bopp & Reuter	Manuals of the Techfluid and Bopp & Reuter meters.	Reviewed during on site	
31.	IPCC	IPCC Guidelines 1996 Good Practice.	Issued on 1996	
32.	GyM S.A. Redes Industriales de Gas	Drawing “Suministro de gas a Cementos Lima km 01+000.00 al km 02+000.00” (Provision of gas to Cementos Lima km 01+000.00 al km 02+000.00), code CL-00-02, scale 1:250, revision 3, dated 02/01/2006, approved by Cálidda (Gas Natural de Lima y Callao S.R.L.).	Reviewed during on site	Project Implementation
33.	TÜV SÜED	Photographs taken on-site of the instruments. Discussion during site visit.	Taken during Site Visit	
34.	Calidda	E-mail from Calidda confirming the measurement capacity and design	Issued on 31/08/2009	

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
		pressure of Calidda's measurement station at Cementos Lima.		
35.	PP	Specification of Equipments: <ul style="list-style-type: none"> • Calciner Burner Equipment GEC-3-2 • Calciner Burner Equipment GEC-12-4 • Duoflex Burner DBC-457-750-7 • Calciner Burner Equipment GEC-5-2 • Duoflex Burner DBC-457-750-7 	Issued on 2004	
36.	Government of Peru	DS 042-99-EM. "Reglamento de distribución de Gas Natural por red de ductos" - (Regulation of the Natural Gas distribution)	Issued on 1999	
37.	Government of Peru	DS 038-2004-EM. Modification to the Regulation of the Natural Gas distribution: DS 042-99-EM.	Issued on 2004	
38.	Government of Peru	DS 065-2005-EM. Law for the promotion of the consumption of Natural Gas.	Issued on 2005	
39.	PP	"Control of documents of the integrated management system" PG-GG-002.	Submitted on 13/12/2011	<i>Checked during on site</i>
40.	PP	"Control of records of the integrated management system" PG-GG-003.	Submitted on 13/12/2011	<i>Checked during on site</i>
41.	PP	"General Maintenance Procedures" PG-GO-002.	Submitted on 13/12/2011	<i>Checked during on site</i>
42.	PP	"Management of Machinery and Equipment Maintenance at Atocongo" P-SGM-001.	Submitted on 13/12/2011	<i>Checked during on site</i>
43.	PP	I-DPR-009 "Medición y Ajuste del consumo de combustibles sólidos" (Measurement and adjustment of fossil fuel consumption).	Submitted on 13/12/2011	<i>Checked during on site</i>
44.	PP	Uncertainties of all the equipments: <ul style="list-style-type: none"> • Pfister weighing scales specs (452BO1, 454BO1, 454BO2, 	Submitted on site	

Information Reference List	Verification of CDM Project	Page 7 of 16	 South Asia
----------------------------	-----------------------------	-----------------	---

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
		454BO3).pdf <ul style="list-style-type: none"> • Ultrasonic Meter Q Sonic-3C specs.pdf • Sartorius DS-PR-1713 specs.pdf • Diesel tanks' measurement system specs.pdf • Boop & Reuther flow meter specs (451QH2FI1A, 453FIR1A).pdf • Boop & Reuther flow meter specs (453FR8A).pdf • Tec Fluid-Covol specs (451QHPPF1, 453FIR2).pdf • Schenck scale specs at PH (EQ-DC26).pdf • Schenck scales for kiln 1 specs (411BL2, 411BL1).pdf • Schenck scales for kiln 2 specs (412 BL1, 411BL2).pdf 		
45.	UNFCCC	Tool to calculate baseline, project and/or leakage emissions from electricity consumption (Version 01).	-	
46.	PP	"PROTOCOLO DE DESCARGA DE LA DATA CRUDA DE LA MEDICIÓN DE GAS NATURAL QUE PROVEE GAS NATURAL DE LIMA Y CALLAO S.A. CEMENTOS LIMA S.A." – "Download protocol of the raw data for the measurement of Natural Gas provided by Calidda S.A."	Issued on 20/04/2010	
47.	PP	Procedure: I-DPR-011. "ASEGURAMIENTO DE LA DATA CRUDA DE GAS NATURAL" – "Raw data of Natural Gas Assurance".	Issued on 04-2010	
48.	PP	"PLAN DE CALIDAD" – "Quality Plan", PC-SGP-006, version 02. "Monitoring of CO2 Emission Reductions".	Last approval on 24/09/2010	Version 02
49.	PP	"ACTA DE ENTREGA DE INFORMACIÓN" – "Information delivery record".	Issued on	


Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
		Form collected to register the download of data between Cementos Lima and Calidda.	02/06/2010	
50.	TÜV SÜD	Interview with a production supervisor Manuel Ospin.	During site visit	
51.	PP	Salary invoice of Manuel Ospin, production supervisor. Salary invoice of Manuel Ospin, production supervisor. Needed to confirm that the person in charge of signing the “Information delivery record” is actually a production supervisor.	Issued on August 2010	
52.	PP	Print screen of the “Integrated Management System – non conformities from Cementos Lima” section related to the monitoring plan established on the registered PDD. Non-conformity (NC-GDC-008/09) found regarding the delay on the monthly verification of NCV _{NC} of June and July.	Checked on site	
53.	PP	PG-GO-003 “CONTROL DE EQUIPOS DE INSPECCION MEDICIÓN Y ENSAYOS” – “Essay, Measurement and Inspection of Equipment Control.pdf”. (point 5.11)	Issued on 25/05/2009	
54.	TÜV SÜD	Photographs taken on equipments SN: FFF 7576 (to identify 411BL1 and 411BL2), SN 702095-030 (to identify Pfister scale 452BO1). Photographs taken for the confirmation of the Serial Numbers.	During Site Visit	
55.	Calidda	“DESCRIPCION DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CEMENTOS LIMA POR CALIDDA.pdf” – “Calidda’s Cementos Lima measurement system description”. Technical Report.	Issued on 17/08/2009	
56.	ProSoft Technology	Automatic Flow Computers. Technical Note. Measurement Standards supported by ProSoft Automatic Flow Computer (AFC) modules. Document code: AFC-AGA. Note for the identification of the standards applied for the Flow Computer used in the measurement of the Natural Gas by the	Submitted on 15/10/2010	

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
		Ultrasonic Flow meter.		
57.	ProSoft Technology	MV156-AFC Custody Transfer Certification. Certification of the Automatic Flow Computer used in the measurement of the Natural Gas by the Ultrasonic Flow meter.	Checked during on site	
58.	ProSoft Technology	Liquid & Gas Flow Computer MVI56-AFC. Data Sheet.	Submitted on 14/12/2011	
59.	Calidda	Print screen of the Downloading of data for the Natural Gas consumption.	Taken on 13/12/2011	
60.	PP	Screen Shot of the DCS in control system.	Taken on 14/12/2011	
61.	PP	Manual records for the Diesel consumption. "Registro de Medición de niveles de tanques de combustibles PI6 y Diesel B2.pdf" (Registry of Fuel PR6 and Diesel B2 tanks' stock levels.pdf)	Submitted on 14/12/2011	
62.	PP	API Standard for the estimation of the diesel consumption.	Submitted on 13/12/2011	
63.	PP	Technical information provided by Cementos Lima of the Pfister weighting scales.	Submitted on 13/12/2011	
64.	PP	"SalDOS de Combustibles" – Fuel Balance records.xls.	Reviewed on the site visit, 13/12/2011	
65.	Deuman	Training certificates related to the CDM project activities provided by the consultant company Deuman.	Reviewed during on site visit	
66.	Metroil S.A.C.	Calibration certificate of the flow meter SN: 0450380. Main equipment.	Issued on 19/07/2010	

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
67.	Metroil S.A.C.	Calibration certificate of the flow meter SN:0425968. Main equipment.	Issued on 19/07/2010 30/06/2011	
68.	Metroil S.A.C.	Calibration certificate of the flow meter SN:647762. Support equipment.	Issued on 27/05/2009 15/07/2010	
69.	Metroil S.A.C. Boop & Reuther Messtechnik	Calibration certificate of the flow meter SN:717594. Support equipment.	Issued on 12/11/2009 14/07/2010	
70.	Metroil S.A.C. Invensys Process System	Calibration certificate of the flow meter SN:08382032. Main equipment.	Issued on 24/09/2010 23/09/2011	
71.	Metroil S.A.C.	Calibration certificate of the flow meter SN:0325903. Main equipment.	Issued on 28/05/2009 24/09/2010 22/09/2011	
72.	Metroil S.A.C.	Calibration certificate of the flow meter SN:95893. Main equipment.	Issued on 28/05/2009 24/09/2010 21/09/2011	
73.	Metroil S.A.C.	Calibration certificate of the flow meter SN: 689619. Support equipment.	Issued on	

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
			27/05/2009 24/09/2010	
74.	Metroil S.A.C. Boop & Reuther Messtechnik	Calibration certificate of the flow meter SN:717593. Support equipment.	Issued on 12/11/2009 24/09/2010	
75.	Metroil S.A.C.	Calibration certificate of the flow meter SN: 694194. Support equipment.	Issued on 27/05/2009 24/09/2010	
76.	Metroil S.A.C	Calibration certificates for the Schenck weighing scale code: 411BL1	Issued on 15/07/2010 25/06/2011	
77.	Metroil S.A.C	Calibration certificates for the Schenck weighing scale code: 411BL2	Issued on 15/07/2010 25/06/2011	
78.	Metroil S.A.C	Calibration certificates for the Schenck weighing scale code: 412BL1, SN: BME-0007	Issued on 28/05/2009 17/09/2010 14/09/2011	
79.	Metroil S.A.C	Calibration certificates for the Schenck weighing scale code: 412BL2, SN: BME 0044.	Issued on 28/05/2009 17/09/2010 14/09/2011	
80.	Primax	Density of fuel oil by Primax.	Checked during on site	
81.	Schenk	File N° F808.00055/V. Description of the raw meal weighing scale SN FFF 7576 and Shenck A.G. purchase order. Data sheet to crosscheck the	Checked during on site	

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
		equipment SN FFF 7576.		
82.	PP	Verification Reports of the electronic weighting scale SN: 2603002895, code EQDC20.	Issued on 08/05/2010 04/12/2010 21/05/2011	
83.	Nederlands Meetinstituut	Calibration Certificate Q.Sonic-3C. Cert N° 36011325.	Issued on 21/09/2005	
84.	Calidda	Verification Certificates corresponded to the monitoring period Q.Sonic-3C	Issued on: 10/08/2010 08/11/2010 25/01/2011 24/04/2011	
85.	PP	Verification Report. Pfister scale code: 452BO1	Issued on 14/10/2008 26/05/2009 21/07/2010	
86.	PP	Verification Report. Pfister scale code: 454BO1	Issued on 20/07/2010 25/06/2011	
87.	PP	Verification Report. Pfister scale code: 454BO2	Issued on 21/07/2010 29/09/2011	
88.	PP	Verification Report. Pfister scale code: 454BO3	Issued on	

Information Reference List	Verification of CDM Project	Page 13 of 16	 South Asia
----------------------------	-----------------------------	------------------	---

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
			21/07/2010 29/09/2011	
89.	PP	Line Diagram for the raw material and clinker production.	Presented on the published MR.	
90.	Pfister	Operational Manual of Pfister Scales codes 454B01, 454B02. SN: 899.845.20.06	Issued on 06/08/1992	
91.	INDECOPI	Calibration Certificates of the electronic weighting scale SN: 2603002895, code EQDC20.	Issued on 06/11/2009 20/12/2010	
92.	PP	Verification Reports of the electronic weighting scale code EQ-DC26, SN FBB 6308.	Issued on 19/04/2010	
93.	Cálidda	Invoices of the Natural gas for the period of September 2010 to August 2011. Monthly invoices issued by Cálidda to Cementos Lima.	Submitted on 14/12/2011	
94.	Calidda	Excel spread sheet with hourly natural gas consumption, raw data for July and August 2011.	Submitted on 14/12/2011	
95.	PP	“Reporte de parámetros y datos de operación” (Production data and parameter’s report) for kiln 1 and kiln 2. (Daily plant log book -data sheet- for the clinker production for the period of September 2010 to August 2011).	Submitted on 14/12/2011	Raw data
96.	PP	“Registro de Control de Operaciones” (Operational Control Records). (Daily plant log book -data sheet- for the fuel consumption for the period of September 2010 to August 2011).	Submitted on 14/12/2011	Raw data
97.	PP	“Coal consumption adjustment”.xls. Excel sheet for the fuel mix calculation	Submitted on	

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
		for the period of September 2010 to August 2011.	14/12/2011	
98.	SGS	Certificates of NCV of Imported coal for the period of September 2010 to August 2011. Letter issued by SGS providing information on the net calorific value of the imported coal by C.I. Exportadora Interamerican Coal Colombia S.A.	Submitted on 14/12/2011	Raw data
99.	PP	“Reporte de producción” excel file. Then this Excel file is transferred to Celisistemas, from where the data is gathered to the ER calculation.	Submitted on 14/12/2011	
100.	TGP	Letter issued by TGP to Cementos Lima, issue: “Información técnica del gas natural” (Technical information of the natural gas). NCV of NG for the period of September 2010 to August 2011.	Issued on 02/11/2009 29/03/2010 24/08/2010 19/05/2010	NCV _{NG} information
101.	PP	Weight slip of the national coal for the period of September 2010 to August 2011.	Submitted on 14/12/2011	
102.	PP	Print screens of the logbook of Kiln 1 and Kiln.	During on site	
103.	PP	“Evalua Carbon” seen on site. “Evalua Carbon V2Rv2” Submitted on 13/12/2011	Submitted on 13/12/2011	
104.	PP	“Monitoring Report V2Rv2 CDM # 1902 -2º periodical verification”	Issued on 14/12/2010	
105.	PP	“ER Calculation V2 Rv5 CDM # 1902 - 3º periodical verification”	Issued on 19/03/2013	
106.	PP	“CAPACITACION SOBRE LA DESCARGA DE LA DATA CRUDA DE GAS NATURAL SEGÚN PROTOCOLO FIRMADO CON CALIDDA”- “Training on	Issued on 25/04/2010	

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
		download of Natural Gas raw data as per signed protocol with Calidda".		
107.	PP	"ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL TRASLADO, INGRESO Y ARCHIVO DE LA DATA CRUDA DE GAS NATURAL AL CELISISTEMAS" – "Quality assurance on the gathering and archiving of NG raw data to the Celisistemas"	Issued on 02/05/2010	
108.	PP	"CAPACITACION SOBRE LA EMISION Y REVISION DE REPORTE DE REDUCCION DE EMISIONES" - "Training on issuance and revisión of ER reports".	Issued on 10/01/2010	
109.	Metroil S.A.C.	Calibration certificate of the flow meter SN: 64711. Main equipment.	Issued on 18/10/2008	
110.	PP	"FICHA DE IDENTIFICACION DE EQUIPO DE MEDICION" - "Registration Sheet of the measurement equipment". SN 08382032.	Issued on 01/10/ 2009	
111.	Calidda	Quarterly Maintenance Reports performed by Calidda. Work Order N° 200038433 – Anual Maintenance in Flow Measurement Stations SN 3183 Work Order N° 200039515 Anual Maintenance in Flow Measurement Stations SN 3183 Work Order N° 200041863 Quarterly maintenance in measurement stations type ultrasonic SN 3183 Work Order N° 200043690 Quarterly maintenance in measurement stations type ultrasonic SN 3183 Work Order N° 200044822 Quarterly maintenance in measurement stations	Issued on 10/08/2010 08/11/2010 25/01/2011 24/04/2011 14/07/2011	In order to check consistency of dates in MR

Ref. No.	Author/Editor/ Issuer	Title/Type of Document. Publication place	Issuance and/or submission date (dd/mm/yyyy)	Additional Information (Relevance in CDM Context)
		type ultrasonic SN 3183		
112.	PP	"Monitoring Report V3Rv2 CDM # 1902 -3° periodical verification"	Issued on 02/04/2013	
113.	PP	"ER Calculation V3Rv5 CDM # 1902 - 3° periodical verification"	Issued on 02/04/2013	
114.	Shenck	Letter from the supplier recommending the calibration frequency.	Issued on 31/01/2011	
115.	FLSmidth Pfister	Letter from the supplier recommending the calibration frequency.	Issued on 31/01/2011	
116.	TecFluid	Letter from the supplier recommending the calibration frequency.	Issued on 31/01/2011	
117.	Hoffer Flow	Letter from the supplier recommending the calibration frequency.	Issued on 01/02/2011	
118.	Foxboro	Letter from the supplier recommending the calibration frequency.	Issued on 31/01/2011	
119.	PP	"Fuel Oil consumption adjustment 08382032.xls"	Submitted on 14/12/2012	
120.	PP	"Accuracy Calculation Foxboro equipment 08382032.xls"	Submitted on 14/12/2012	
121.	PP	"ER calculation 2° verification. Energy contribution per type of fuel".xls	Submitted on 14/12/2012	
122.	PP	"PDD ER calculations. Energy contribution per type of fuel"	Submitted on 14/12/2012	
123.	PP	"Determinación del Poder Calorífico Bruto" - (Gross Calorific value Determination).	Submitted on 14/12/2012	



Annex 3
Appointment Certificates

CERTIFICATE OF APPOINTMENT

Mr. Agarwal, Nikunj fulfills the requirements of the Certification Body "Environment and Energy" of TÜV SÜD South Asia Pvt Ltd to participate in audits.

Qualification applicable to					
Standard	CDM	GS	VCS	VER	Other
Date	23.11.12				

Qualification as						
Status	Trainee	Validator	Verifier	Team Leader	Technical Reviewer	Technical Expert
Date		23.11.12	23.11.12	23.11.12	23.11.12	1.1,1.2, 3.1, 4.10, 13.1,13.2, 15.2

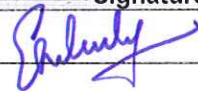
Other qualification						
Country Expertise						
Region	1	2	3	4	5	Other
Date	23.11.12					
Further countries						
Financial Expertise						
Date	23.11.12					

Qualification in technical areas	
Technical Area	Date
1.2_Energy generation from renewable energy source	23.11.12
13.1_Waste handling and disposal	23.11.12
3.1_Energy demand	23.11.12
13.2_15.2_Animal waste management	23.11.12
1.1_4.10_Thermal energy generation..	23.11.12 (Valid until 17.06.2013)

This appointment is valid until 28.02.2014 and is bound by internal requirements of the Certification Body "Environment and Energy" of TÜV SÜD South Asia Pvt Ltd.

In case of loss of validity of this certificate as per result of an assessment according to internal procedures or due to any other reason, it will be properly communicated to you.

Your Certificate has the internal reference no. CB-IND-CCP-0001/002

Date	Signature
01.03.2013	



CERTIFICATE OF APPOINTMENT

Mr. Mitterwallner, Robert fulfills the requirements of the Certification Body "Environment and Energy" of TÜV SÜD South Asia Pvt Ltd to participate in audits.

Qualification applicable to					
Standard	CDM	GS	VCS	VER	Other
Date	21.11.12				

Qualification as						
Status	Trainee	Validator	Verifier	Team Leader	Technical Reviewer	Technical Expert
Date		21.11.12	21.11.12	21.11.12	21.11.12	1.1, 4.10, 1.2, 4.1, 4.3, 13.1

Other qualification						
Country Expertise						
Region	1	2	3	4	5	Other
Date	21.11.12		21.11.12			
Further countries						
Financial Expertise						
Date						

Qualification in technical areas	
Technical Area	Date
1.1_4.10_Thermal energy generation	01.03.2013 (Valid until 17.06.2013)
1.2_Energy generation from renewable energy source	21.11.12
4.1_Cement sector	21.11.12
4.3_Iron and steel sector	21.11.12
13.1_Waste handling and disposal	21.11.12

This appointment is valid until 28.02.2014 and is bound by internal requirements of the Certification Body "Environment and Energy" of TÜV SÜD South Asia Pvt Ltd.

In case of loss of validity of this certificate as per result of an assessment according to internal procedures or due to any other reason, it will be properly communicated to you.

Your Certificate has the internal reference no. CB-IND-CCP-0030/002.

Date	Signature
01.03.2013	



South Asia

CERTIFICATE OF APPOINTMENT

Ms. Zhang, Cuiyun (Rachel) fulfills the requirements of the Certification Body "Environment and Energy" of TÜV SÜD South Asia Pvt Ltd to participate in audits.

Qualification applicable to					
Standard	CDM	GS	VCS	VER	Other
Date	21.11.12				

Qualification as						
Status	Trainee	Validator	Verifier	Team Leader	Technical Reviewer	Technical Expert
Date		21.11.12	21.11.12	21.11.12	21.11.12	1.2, 13.1

Other qualification						
Country Expertise						
Region	1	2	3	4	5	Other
Date	21.11.12				21.11.12	
Further countries						
Financial Expertise						
Date						

Qualification in technical areas	
Technical Area	Date
1.2_Energy generation from renewable energy source	21.11.12
13.1_Waste handling and disposal	21.11.12

This appointment is valid until 28.02.2014 and is bound by internal requirements of the Certification Body "Environment and Energy" of TÜV SÜD South Asia Pvt Ltd.

In case of loss of validity of this certificate as per result of an assessment according to internal procedures or due to any other reason, it will be properly communicated to you.

Your Certificate has the internal reference no. CB-IND-CCP-0056/002

Date	Signature
01.03.2013	



South Asia

CERTIFICATE OF APPOINTMENT

Mr. Kleiser Thomas fulfills the requirements of the Certification Body "Environment and Energy" of TÜV SÜD South Asia Pvt Ltd to participate in audits.

Qualification applicable to					
Standard	CDM	GS	VCS	VER	Other
Date	21.11.12				

Qualification as						
Status	Trainee	Validator	Verifier	Team Leader	Technical Reviewer	Technical Expert
Date		21.11.12	21.11.12	21.11.12	21.11.12	1.1, 1.2, 4.1, 4.10

Other qualification						
Country Expertise						
Region	1	2	3	4	5	Other
Date	21.11.12					
Further countries						
Financial Expertise						
Date	21.11.12					

Qualification in technical areas	
Technical Area	Date
1.1_4.10_Thermal energy generation....	21.11.12
1.2_Energy generation from renewable energy source	21.11.12
4.1_Cement sector	21.11.12

This appointment is valid until 28.02.2014 and is bound by internal requirements of the Certification Body "Environment and Energy" of TÜV SÜD South Asia Pvt Ltd.

In case of loss of validity of this certificate as per result of an assessment according to internal procedures or due to any other reason, it will be properly communicated to you.

Your Certificate has the internal reference no. CB-IND-CCP-0022/002.

Date	Signature
01.03.2013	

ANEXO F

EMISIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE CERTIFICADOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES - CERS

UNIÓN ANDINA DE CEMENTOS S.A.A. - UNACEM S.A.A.
(Ex - CEMENTOS LIMA)

PERIODO 2008 - 2012

Anexo F

UNIÓN ANDINA DE CEMENTOS S.A.A. - UNACEM S.A.A.
EMISIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE CERTIFICADOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES - CERs
PERIODO 2008 - 2012

Emisión	Primera Emisión	Segunda Emisión	Tercera Emisión
Fecha de emisión	14/06/2010	23/05/2011	20/09/2013
CERs emitidos	66,207	112,346	137,753
Descuento 2% (Fondo de Adaptación UNFCCC)	1,324	2,247	2,755
CERs netos para venta	64,883	110,099	134,998
Fecha de venta	14/07/2010	14/06/2011	15/01/2014
Cliente	EDF Trading Limited	EDF Trading Limited	EDF Trading Limited
CERs comercializados	64,883	110,099	134,998
Monto de factura en EUROS	739,017	1,303,980	44,414

Fuente: UNACEM S.A.A.

Elaboración propia.