

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“VALORACION DE EMISIONES DE PARTICULAS EN EL
PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE CLINKER
EN LA PLANTA INDUSTRIAL DE CEMENTOS LIMA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

JENNY MERCEDES TEODOSIO CASTILLO

LIMA - PERU

2004

Dedicatoria

El presente trabajo representa la culminación exitosa de una etapa de esfuerzo y dedicación el cual dedico:

- *A mis padres, quienes me apoyaron cada día en todos mis planes y proyectos;*
- *A mi hijita Fiorella, a quien le quité horas de mi atención por dedicarlas al estudio;*
- *A mi esposo, por apoyarme intelectualmente y con el cuidado de nuestra hija durante mi ausencia; y*
A mis hermanas, impulsándonos mutuamente a seguir superándonos.

Agradecimiento

Agradezco a mi familia por el apoyo desmedido en cada paso de mi carrera profesional y a la empresa Cementos Lima S.A., en la persona del Ing. Julio Roncal Montini, por permitirme revisar y utilizar información de la empresa durante todo el desarrollo del presente informe.

RESUMEN

La industria del cemento es una actividad, que a través de su producto abastece mercados regionales, requiriendo en su proceso de fabricación grandes cantidades de materia prima y altos consumos de energía, debido a ello se generan emisiones de partículas que son controladas por sistemas de captación; sin embargo estos sistemas no siempre funcionan de una manera eficiente debido a diversos factores, entre ellos: su obsolescencia, elección de una alternativa inadecuada, incremento de niveles de producción que exceden su capacidad, entre otros.

La principal fuente de emisión de partículas al ambiente en la planta industrial de la fábrica en estudio, de acuerdo a los resultados de monitoreo de emisiones de los últimos dos años, se presenta en el proceso de enfriamiento de clinker. En esta etapa se usaba anteriormente un sistema de captación de partículas mediante multiciclones, pero debido a los altos valores de concentración de partículas, se hizo necesario la implementación de un nuevo sistema de control del contaminante particulado, con la finalidad de reducir sus emisiones y así cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental del Ministerio de la Producción, autoridad ambiental competente del sector cementero.

En el presente informe, se realizará la cuantificación de las emisiones de partículas en el proceso de enfriamiento de clinker y se estimará el periodo de recupero de la inversión, en función de la valorización del material que se deja de emitir al ambiente, con la implementación del nuevo sistema de captación por medio de precipitadores electrostáticos.

INDICE

RESUMEN

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes de la empresa	1
1.2	Objetivo del Estudio	1
1.3	Alcance del Estudio	2
2	DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS	3
2.1	Proceso y técnicas en la producción de cemento	3
2.2	Emisiones	7
2.2.1	Emisiones de partículas	7
2.2.2	Emisiones gaseosas	8
2.3	Legislación Ambiental	9
2.3.1	Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades en la Industria Manufacturera	10
2.3.2	Régimen de Sanciones e Incentivos del Reglamento de Protección Ambiental	11
2.3.3	Límites Máximos Permisibles para la Industria del Cemento	12
2.4	Métodos de medición y análisis de las emisiones de partículas	14
2.5	Tecnologías para el control de emisiones de partículas	15
2.5.1	Sedimentadores por gravedad	15
2.5.2	Ciclones	15
2.5.3	Filtros de manga	17
2.5.4	Precipitadores electrostáticos	18
2.6	Criterios de Selección	23
2.6.1	Eficiencia de Recolección	23
2.6.2	Características de la corriente gaseosa	23

3	DESARROLLO DEL TEMA	24
3.1	Antecedentes	24
3.2	Identificación de las fuentes de emisión en el proceso de fabricación de cemento	24
3.2.1	Partículas	25
3.2.2	Otras emisiones	26
3.3	Niveles de concentraciones según las fuentes de emisión en el proceso de fabricación de Cementos Lima	26
3.3.1	Resultados de monitoreo de emisiones de partículas	27
3.3.2	Análisis de niveles de emisión de partículas de los años 2002 y 2003	28
3.4	Planteamiento de solución - Implementación de nuevo sistema de captación de partículas.	29
3.4.1	Selección de sistema de captación y costos estimados de implementación	29
3.5	Resultados de la Instalación del Electrofiltro	31
3.5.1	Mediciones de emisión de partículas – Año 2004	31
3.5.2	Comparación de resultados 2004 con años anteriores	32
3.5.3	Porcentaje de clínker recuperado con respecto a la producción	33
3.6	Valoración económica de material recuperado en el proceso de enfriamiento de clínker.	34
3.7	Periodo de recupero de la inversión	35
4	CONCLUSIONES	37
5	RECOMENDACIONES	38
6	BIBLIOGRAFÍA	39
7	ANEXOS	41

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Límite Máximo Permissible (LMP) para Emisiones de los Hornos de la Industria Cementera del Perú	12
Cuadro 2	Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas - ECUADOR	13
Cuadro 3	Límites Máximos Permisibles de Emisiones en Plantas de Cemento - ESPAÑA	13
Cuadro 4	Límites Máximos Permisibles de Emisiones en Plantas de Cemento - USA	13
Cuadro 5	Características Principales de Sistemas de Captación de Polvo - Ventajas (V) y desventajas (D)	22
Cuadro 6	Características de los Sistemas de Captación de Partículas de CLSA	26
Cuadro 7	Resultados Promedio Anuales de Material Particulado (Año 2002)	27
Cuadro 8	Resultados Promedio Anuales de Material Particulado (Año 2003)	28
Cuadro 9	Presupuesto de sistemas de captación de partículas 1	29
Cuadro 10	Características de las Emisiones del Enfriador de Clinker	30
Cuadro 11	Concentraciones de partículas a la salida del Electrofiltro-Marzo 2004	31
Cuadro 12	Concentraciones de partículas a la salida del Electrofiltro-Marzo 2004	32
Cuadro 13	Porcentaje de clínker recuperado	33
Cuadro 14	Valoración de clínker recuperado en el proceso de enfriamiento	34
Cuadro 15	Resumen de Inversiones realizadas en la Implementación del Proyecto	35

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Proceso de Producción de Cemento	6
Figura 2	Principio de Operación de un Ciclón Típico	16
Figura 3	Vista de Corte de un Filtro de Mangas	17
Figura 4	Principio de Operación de un Electrofiltro	19
Figura 5	Disposición de Placas en un Electrofiltro	20
Figura 6	Corte Transversal de un Electrofiltro	21

INDICE DE ANEXOS

A	Glosario de Términos	A-0
B	Proceso de Fabricación de Cemento en el Perú	B-0
C	Expediente de empresa asesora ARPL Tecnología Industrial S.A.	C-0
D	Resultados de Monitoreo de Emisiones – Años 2002, 2003 y 2004	D-0
E	Datos de Producción de la Línea N° 2, de los años 2002 y 2003	E-0
F	Misceláneos sobre Contaminación Ambiental por Partículas	F-0

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes de la empresa

Cemento Lima S.A. 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. Cementos Lima es propietaria de sus instalaciones de fábricas y locales aledaños, en el cual trabajan un total de 370 trabajadores, entre funcionarios, administrativos, empleados y obreros.

Cementos Lima es una de las empresas de fabricación de cemento más antiguas en el Perú. Sus 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 (al costado del Rímac) y utilizaba materia prima traída desde las Canteras de Atocongo – Villa María del Triunfo.

El 28 de diciembre de 1967 se constituye la nueva 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.

Es así, que a partir del año 1998, paralelo a la línea de producción N°1 cuya capacidad de producción es de 4000 TN/día de clínker, la empresa instaló una nueva línea de producción N°2 con un moderno horno de calcinación y equipos de control y mando de sus operaciones de producción, con una capacidad de producción de 7 000 TN/día de clínker.

1.2 Objetivo del Estudio

Valoración de las emisiones de material particulado en la fábrica de Cementos Lima S.A., antes y después de la implementación de un nuevo sistema de captación de partículas, en el proceso de enfriamiento de clínker. Cuantificación de la optimización por mejora del proceso de control de la emisión.

1.3 Alcance del Estudio

El cemento es un producto básico en la construcción, que se obtiene a base de procesar determinados minerales, que se extraen de las canteras, se preparan, se muelen y se introducen a unos hornos (1400 - 1500 °C), donde se producen las reacciones químicas necesarias para su transformación en un producto intermedio denominado clínker.

La obtención del clínker se logra por un enfriamiento brusco y es una combinación de silicatos y ferroaluminatos de calcio, luego el clínker se mezcla y muele finamente con otros productos, como yeso y otras adiciones, para obtener finalmente el cemento.

Todos los procesos mencionados involucran emisiones de gases y partículas, debido a la reducción de tamaño de partículas, a las reacciones físicas y químicas de las materias primas y de la combustión de los combustibles en el horno, enfriamiento brusco de clínker y otras operaciones como almacenamiento de materiales en canchas.

De las etapas que comprende la fabricación del cemento, en el presente informe se considera al proceso de enfriamiento de clínker y se evalúa la mejora de recolección de partículas procedentes de éste proceso, mediante el cambio de sistema de captación de partículas emitidas al ambiente.

Se usa como patrón de referencia los Límites Máximos Permisibles del sector cemento, tanto de la Legislación Nacional como Internacional.

2 DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS

2.1 Proceso y técnicas en la producción de cemento

Coexisten hoy 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 suben 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 costes 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 coste, 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 (trituration, 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 -la más importante en términos de calidad del producto, potencial de emisiones, y coste-, las materias primas se alimentan al horno donde son secadas, precalentadas, calcinadas y sinterizadas para producir clínker 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 clínker 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 clínker

El clínker, 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 clínker 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 clínker (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 -camiones cisternas-, o envasado para sus diversos usos.

Figura 1. Proceso de Producción de Cemento



2.2 Emisiones

Emisión es la liberación de contaminantes (partículas sólidas, líquidas o gases) al medio, procedentes de una fuente productora. 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.

2.2.1 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 $3,5\mu\text{m}$.

2.2.2 Emisiones gaseosas

Los contaminantes gaseosos más comunes son:

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.

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) 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 (O₃).

Los hidrocarburos se pueden producir a partir de combustible no quemado y desperdiciado. Los hidrocarburos son importantes a causa de 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.

2.3 Legislación 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 costes 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.

2.3.1 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:

1. 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.
11. 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.
111. 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.

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

2.3.2 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 auditorias, 3) excepción de requisitos regulatorios, 4) difusión de experiencias exitosas, 5) otorgamiento de premios públicos, y 6) certificación de buen desempeño ambiental.

2.3.3 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.

Se muestra a continuación un resumen de normas nacionales e internacionales referidas a Límites Máximos Permisibles establecidos para la industria del cemento y específicamente a la emisión de material particulado.

NORMATIVA PERUANA

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.

Cuadro 1 Límite Máximo Permissible (LMP) para Emisiones de los Hornos de la Industria Cementera del Perú

Parámetro	Horno	LMP	Unidad
Material Particulado	En curso	250	mg/m ³
	Nuevo	150	

La emisión de material particulado (MP) por horno (EH) es el promedio ponderado de las emisiones de la totalidad de las chimeneas de cada horno, incluyendo la chimenea de bypass para control de álcalis o cloro, y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$EH = (\sum CiQi) / \sum Qi$$

EH = Emisión combinada de la línea de producción, en mg/m³:

Ci = Concentración de la chimenea i , en mg/m³

Qi = Flujo de gases de la chimenea i , en m³/seg

i = Número de chimenea

NORMATIVIDAD INTERNACIONAL

Proyecto de Norma Ambiental Ecuatoriana: Norma de Emisiones al aire desde fuentes Fijas de Combustión.- En la tabla 6 de su numeral 4.3.1 propone límites máximos permisibles de emisiones al aire para la elaboración de cemento.

Cuadro 2 Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas - ECUADOR

Contaminante Emitido	Observaciones	Fuentes Existentes	Fuentes Nuevas	Unidad
Partículas Totales	Horno de clinker	150	50	mg/Nm ³
	Enfriador de clinker	100	50	mg/Nm ³

mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0°C, en base seca y corregidos a 7 de oxígeno.

Norma Española:

Cuadro 3 Límites Máximos Permisibles de Emisiones en Plantas de Cemento-ESPAÑA

Proceso	Contaminante	Límite Máximo Permissible	Unidad
Partículas	Hornos de Cemento	150 ⁽¹⁾	mg/Nm ³
	Enfriadores de Clinker	50	
	Machacadoras, molinos, transportadores y ensacadores	150	

⁽¹⁾ Se admitirá una tolerancia de 1 000 mg/Nm³, durante 48 horas consecutivas. Las instalaciones de depuración no podrán funcionar incorrectamente más de 200 h/año.

Norma Norteamericana:

Cuadro 4 Límites Máximos Permisibles de Emisiones en Plantas de Cemento - USA

Proceso ⁽¹⁾	Contaminante	Límite Máximo Permissible	Unidad
Partículas	Hornos de Cemento	0,15	Kg/t
	Enfriadores de Clinker	0,05	
	Machacadoras, molinos, transportadores y ensacadores	0,05	

⁽¹⁾ En la legislación americana, se habla de plantas de cemento PORTLAND.

2.4 Métodos de medición y análisis de las emisiones de partículas

Para el monitoreo de emisiones gaseosas y particuladas, se tomaron en consideración los métodos y procedimientos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA por su sigla en inglés "Environmental Protection Agency"; los cuales a su vez son adoptados en la Normativa Peruana en la RM N° 026-2000-MITINCI.

Estos métodos están comprendidos en el CFR 40, Capítulo 60, que comprende:

- ✓ Método EPA5 para la determinación de material particulado en fuentes estacionarias, Método EPA4 para la determinación de humedad en chimeneas,
- ✓ Método EPA3A para el análisis de CO₂ y O₂ por equipos automáticos,
- ✓ Método EPA2 para la determinación de velocidades, y
- ✓ Método EPA1 para hallar el mínimo número de puntos transversos.

Método 5: Determinación de emisiones de partículas de fuentes estacionarias

Principio: El material particulado (particulate matter, PM) se extrae isocinéticamente de la fuente y se recoge sobre un filtro de lana de vidrio mantenido a un rango de temperatura de 120 +/- 154 °C u otra temperatura como se especifica en alguna subparte aplicable de los estándares o que haya sido aprobada por el Administrador de la EPA para una aplicación particular. La masa de PM, que incluye cualquier material que se haya condensado en o arriba de la temperatura de filtración, se determina gravimétricamente después de la remoción del agua no combinada.

Aplicabilidad: Este método es aplicable para la determinación de emisiones de PM de fuentes estacionarias.

2.5 Tecnologías para el control de emisiones de partículas

La estrategia básica del control para los contaminantes en partículas es aglomerarlas para formar partículas más grandes que puedan capturarse con facilidad. Esto se puede lograr al forzar que las partículas separadas entren en contacto entre sí (como en las cámaras de sedimentación, ciclones, precipitadores electrostáticos o filtros), o bien, poniéndolas en contacto con gotas de agua (como en los lavadores en húmedo).

Si es posible, las partículas capturadas son derivadas hacia algún lugar del proceso que las genera para su recuperación.

2.5.1 Sedimentadores por gravedad

Es sencillamente una cámara larga por la cual pasa lentamente la corriente de gas contaminado, permitiendo que transcurra el tiempo suficiente para que las partículas se sedimenten por gravedad hasta el fondo. Es un aparato antiguo y nada complicado que se debe limpiar en forma manual a intervalos regulares.

Se construye con sencillez, requiere poco mantenimiento y tiene cierta aplicación en las industrias en las que se tratan gases muy secos.

Los sedimentadores por gravedad tienen poco uso en la industria porque son ineficaces para las particuladas pequeñas.

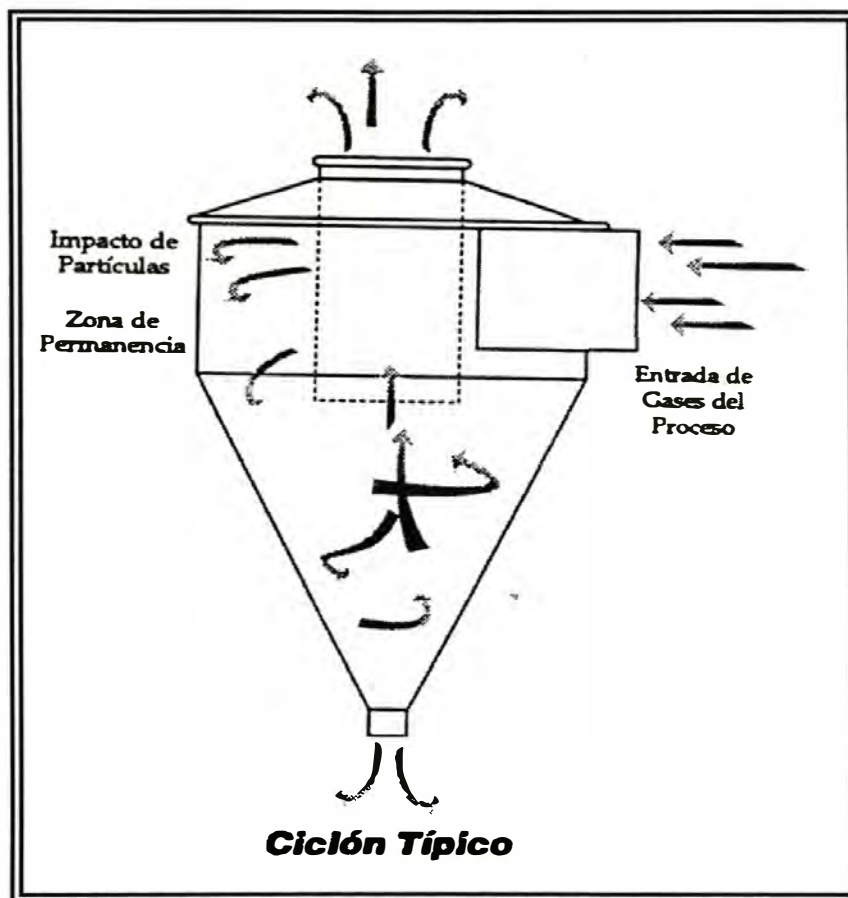
2.5.2 Ciclones

Son semejantes a los sedimentadores por gravedad pero en los cuales, para impulsar las partículas hacia la superficie de captura, se aplica una fuerza más poderosa que la gravedad.

En los ciclones, los gases cargados de partículas entran en dirección tangencial respecto a la parte superior y, en teoría, descienden en espiral a lo largo de la carcasa. Las partículas emigran hacia el exterior de la espiral, donde se deslizan hacia abajo por la carcasa hasta la tolva del fondo.

La única salida del ciclón para los gases es en sentido vertical ascendente por el tubo central y, para salir, la espiral debe contraerse hasta un diámetro mas pequeño. La reducción del radio de trayectoria de las partículas da por resultado una fuerza centrífuga mayor conforme las partículas se mueven hacia la espiral interior.

Figura 2. Principio de Operación de un Ciclón Típico



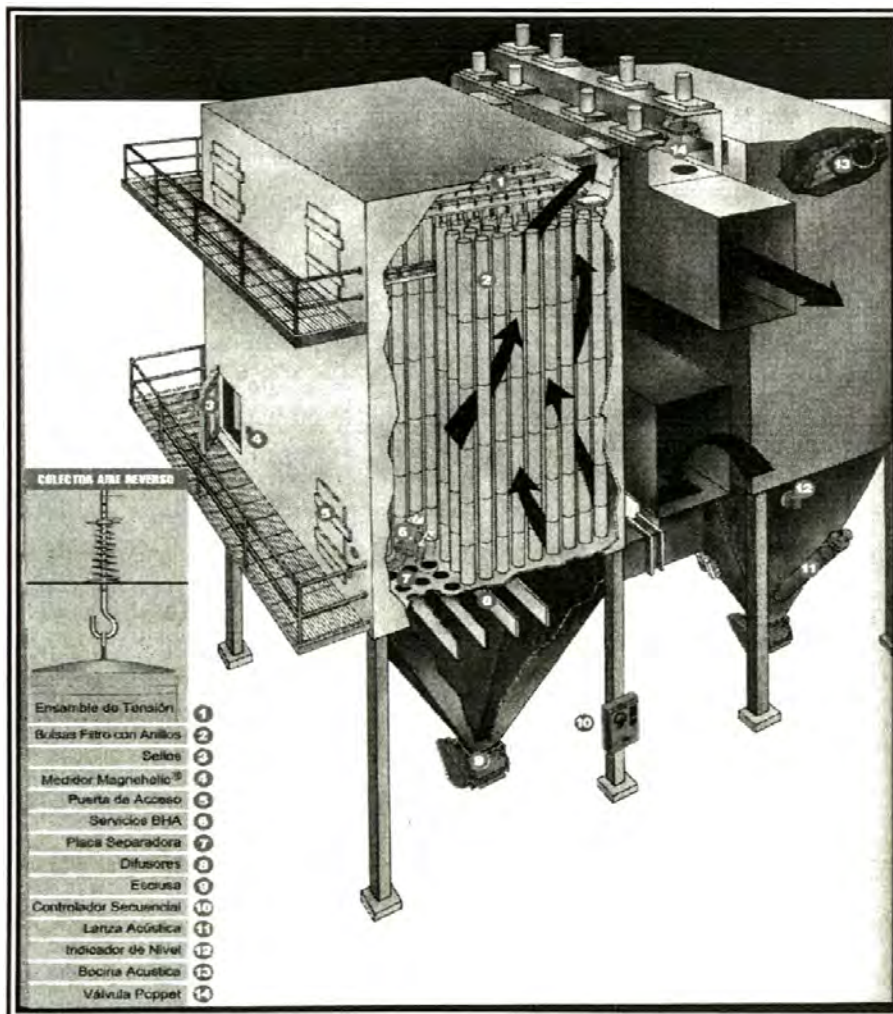
Una eficiencia de recolección típica para un ciclón de 1 m de diámetro podría ser de 50% para partículas de 20 μm , un ciclón de alta eficiencia podría tener una eficiencia de recolección del 80% para diámetros de partículas mayor a 10 μm .

Las cámaras de sedimentación y los ciclones no contienen partes móviles. Se pueden fabricar con materiales capaces de soportar altas temperaturas y resistir el ataque corrosivo de las partículas o gases.

2.5.3 Filtros de manga

Los colectores de tela, cámara de sacos o filtros de manga son similares a una aspiradora en gran escala. Se utilizan para extraer partículas secas de corrientes gaseosas secas y a baja temperatura (de 0 a 275°C).

Figura 3. Vista de Corte de un Filtro de Mangas



Se suspenden sacos de tela de 15 a 30 cm de diámetro y de hasta 10 m de largo en una cámara, y el aire que se fuerza a pasar por el saco se descarga a través de la tela, la cual puede ser tejida o hecha de fieltro. La tela se hace de materiales como algodón, fibras sintéticas y fibra de vidrio, cada una de los cuales se adapta en distinto grado a la temperatura del gas y las partículas, y a sus características físicas y químicas.

El uso de celdas múltiples permite dar mantenimiento a la cámara de sacos que están en bloques individuales de celdas, mientras la unidad se encuentra en operación.

La tela de la que están hechos los sacos pueden tener “agujeros” de más de 100 μm de ancho; sin embargo, si se maneja correctamente, el colector trabaja con una eficiencia superior al 99 % para partículas con diámetro menor a 1 μm , Las partículas pequeñas se recolectan empleando la torta de filtro de la superficie de la tela como medio filtrante.

A medida que el espesor de la torta de filtro aumenta, también lo hacen la pérdida de presión a través de la cámara de sacos y, por consiguiente, los costos de energía. Si la torta de filtro porosa se hace demasiado gruesa, la presión del lado corriente arriba de la torta puede comprimir la misma para formar una masa más compacta, con lo cual aumenta considerablemente la pérdida de presión a través de la torta.

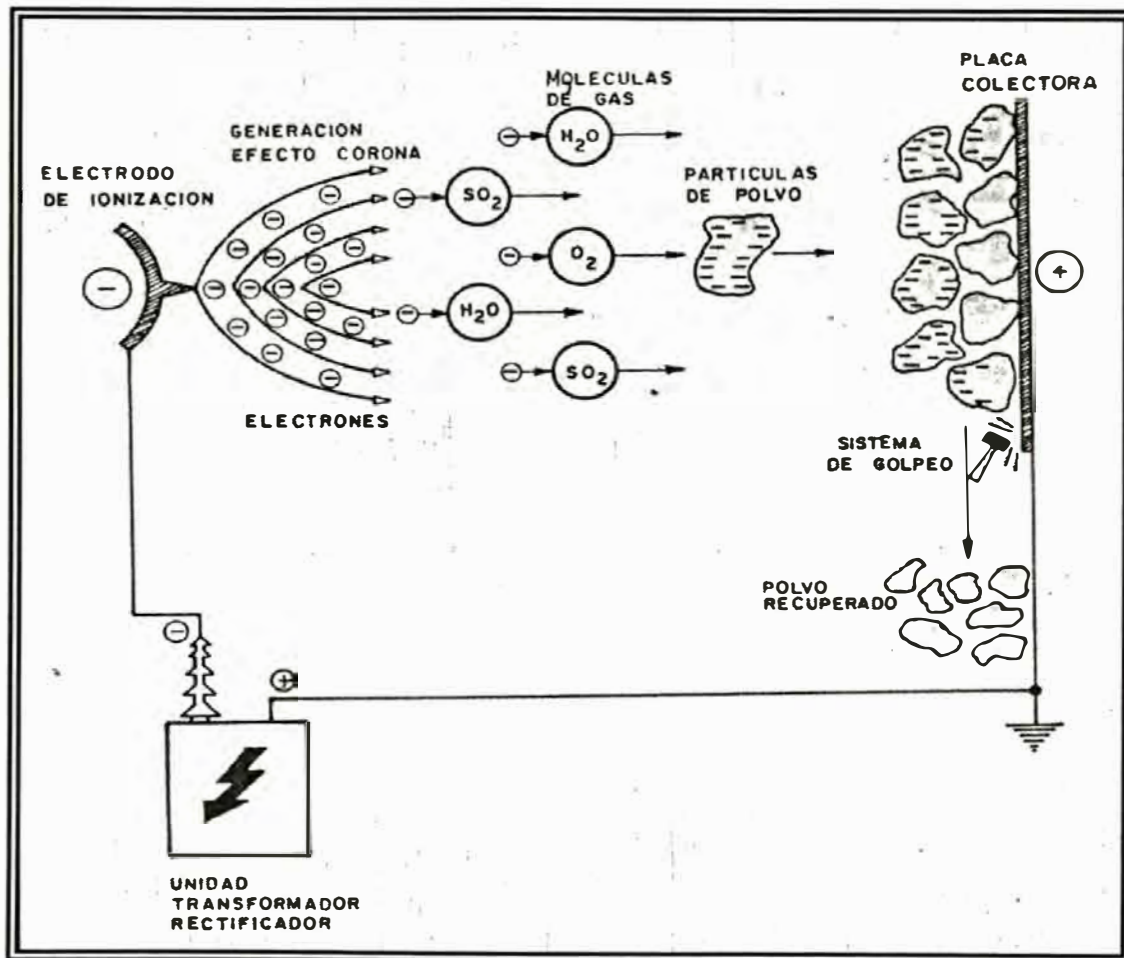
Si los poros del filtro se llenan de líquido, sucede algo similar; por esta razón, las cámaras de sacos se limitan a la recolección de partículas secas, y se deben tomar precauciones especiales para impedir una condensación excesiva de la corriente gaseosa.

2.5.4 Precipitadores electrostáticos

El precipitador electrostático es también conocido como filtro electrostático ó electrofiltro. El principio de funcionamiento se basa en dos fenómenos eléctricos; uno de ellos es el efecto corona, que consiste en la emanación de electrones de un elemento conductor cuando es sometido a una alta tensión. El segundo principio es la fuerza de atracción de una partícula cargada eléctricamente cuando está dentro de un campo eléctrico. El polvo pasa entre los electrodos de ionización y precipitación. El electrodo de ionización es sometido a una alta tensión en corriente continua de polaridad negativa, originando un flujo de electrones (efecto corona), estos electrones impactan en las moléculas de gas y éstas a su vez con las partículas de polvo ionizándolas negativamente.

Las partículas de polvo ionizadas son atraídas hacia las placas colectoras (de polaridad positiva); un sistema de golpeo hace que el polvo acumulado en las placas se desprenda y por gravedad descienda a un circuito recolector.

Figura 4. Principio de Operación de un Electrofiltro



En un precipitador electrostático, se puede separar la parte mecánica del sistema eléctrico, cada una de ellas presenta características especiales.

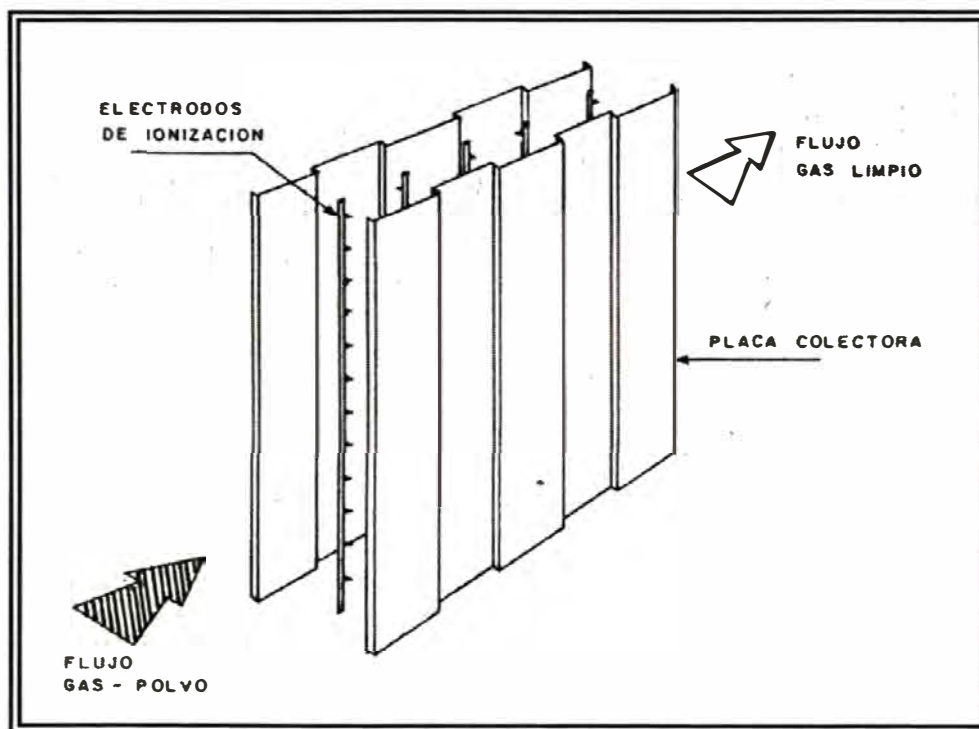
Parte mecánica

Un filtro se compone principalmente de la carcasa en cuyo interior se encuentran los sistemas de distribución de gas, los electrodos de ionización, las placas colectoras (electrodos de precipitación) y mecanismos de golpeo.

Parte eléctrica

El sistema eléctrico se compone de un transformador elevador monofásico y un puente rectificador en alta tensión (75 kV), una unidad de control electrónico que permite elevar la tensión hasta un valor por debajo de la tensión de disrupción y un opacímetro.

Figura 5. Disposición de Placas en un Electrofiltro

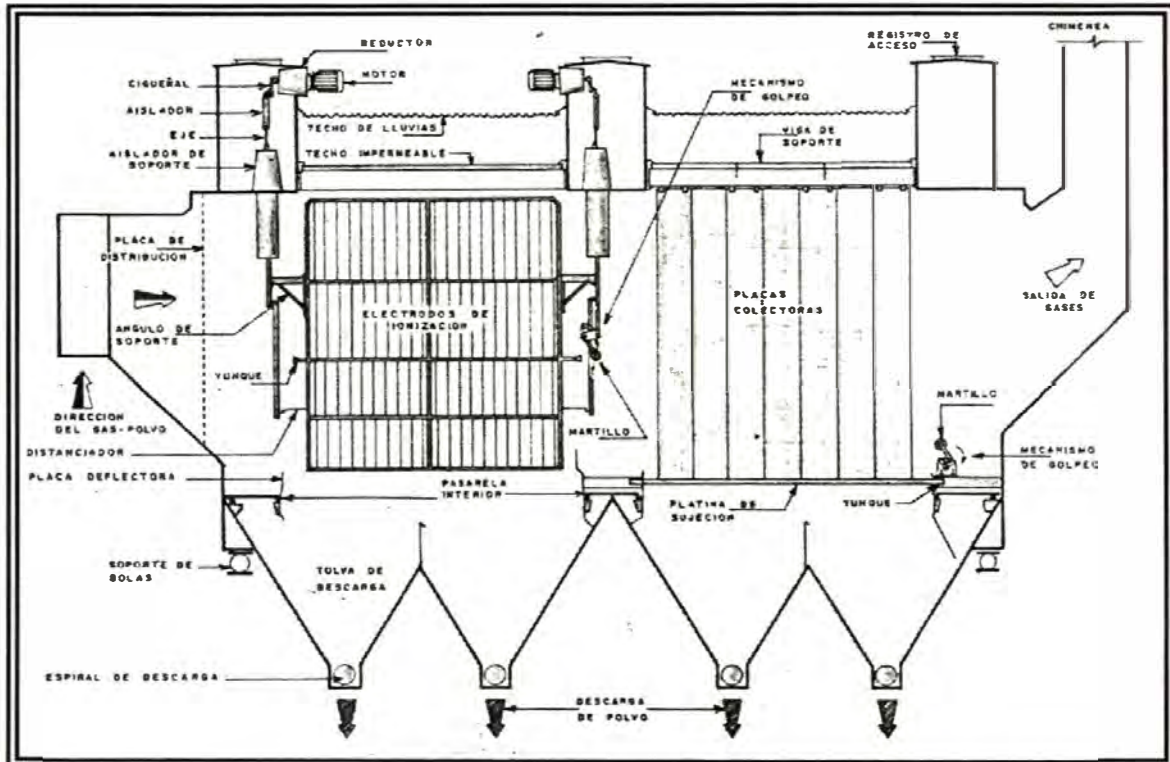


El área de superficie de un colector típico es alrededor de 250 m^2 por m^3/s de flujo de gas, aunque éste valor varía significativamente de acuerdo a las características del gas y de las partículas para una eficiencia de rendimiento dada. Unas dimensiones de placa representativas serían de $13\text{m} \times 20\text{m}$, con una separación entre placas de 30 a 40 cm.

La “resistividad” del gas y de las partículas son importantes variables de diseño en los precipitadores porque determinan la rapidez con la que se cargan las partículas y la intensidad del campo en las secciones recolectoras. La resistividad varía con la temperatura y la composición química.

Es frecuente el uso de agentes acondicionadores (sustancias químicas que modifican la resistividad de forma significativa, como SO_3 y NH_3) para mejorar el rendimiento del colector.

Figura 6. Corte Transversal de un Electrofiltro



Las eficiencias de recolección de los precipitadores son hasta 99% para partículas mayores de $2\ \mu\text{m}$ a pérdidas de presión de 5 cm de agua o menos. Las unidades se pueden construir enteramente de metal, y se utilizan de manera casi exclusiva en procesos que descargan grandes volúmenes de gases corrosivos con un alto porcentaje de partículas mayores a $1\ \mu\text{m}$.

El peligro de incendio y explosión está presente siempre y cuando se recolectan partículas combustibles en recolectores secos. Estas partículas son especialmente peligrosas en los precipitadores electrostáticos a causa del riesgo de ignición por salto de chispas.

Cuadro 5 Características Principales de Sistemas de Captación de Polvo - Ventajas (V) y desventajas (D)

Característica		Ciclón y Multiciclón	Filtro de Mangas	Filtro Electrotático
Principio de Operación		Centrifugado	Aspiración y estancamiento en mangas	Atracción de partículas cargadas por fuerzas electrostáticas
Tamaño de partícula captada	V		Partículas finas (> 1 um)	Partículas finas (> 0,5 um)
	D	Polvo grueso, mayor de 20 um		
Eficiencia de recolección	V		Alta eficiencia (99,9%)	Alta eficiencia (99,95%)
	D	Baja, menor a 85 % (entre 85 a 94%)		
Temperatura de trabajo	V	Alta (hasta 875°C usando material refractario)		Hasta 400°C
	D		Baja (< 100°C, necesitan materiales especiales para mayores temperaturas)	
Pérdida de presión	V			Baja (de 15 a 20 mmH2O)
	D	Alta (de 130 a 165 mmH2O)	Alta (de 60 a 150 mm H2O)	
Facilidad de Fabricación e implementación	V	Sí (Fabricación e implementación sencilla)		
	D		Mediana (ocupan mayor espacio y necesitan equipamiento adicional para limpieza de mangas)	Mayor (ocupan mayor espacio y necesitan equipamiento adicional para autolimpieza de electrodos)
Costo de Inversión	V	Bajo		
	D			Alta

Elaboración propia.

Fuente: Expediente Técnico del Proyecto "Mejoramiento de la Ventilación del Enfriador del Horno 2 de la Fábrica de Cements Lima S.A. - ARPI. Octubre 2002.

2.6 Criterios de Selección

2.6.1 Eficiencia de Recolección

En el control de partículas lo que interesa controlar es la masa de las emisiones de partículas y no el número de partículas. La eficiencia de recolección de un dispositivo se basa en la fracción de la masa de partículas que controla. La ecuación general es:

$$n = \frac{M_i - M_e}{M_i} \quad \text{donde: } \begin{array}{l} M_i = \text{masa total que entra al dispositivo} \\ M_e = \text{masa total emitida del dispositivo} \end{array}$$

Cuando se conoce la distribución de partículas por tamaño, la eficiencia general se calcula midiendo el promedio de la eficiencia del dispositivo para cada rango de tamaño.

$$N = \sum_{z=1}^n \frac{M_{iz} (M_{iz} - M_{ez})}{M_i} \quad \text{donde: } \begin{array}{l} M_i = \text{masa total que ingresa al dispositivo} \\ M_{iz} = \text{masa que ingresa del rango de tamaño } z \\ M_{ez} = \text{masa emitida del rango de tamaño } z \end{array}$$

Los dispositivos de control tienen, comunmente, eficiencias de control altas en rangos de tamaño específicos y en otros rangos de tamaño pueden tener eficiencias pobres. Por tanto, es importante conocer la distribución de partículas cuando se selecciona un dispositivo de control con eficiencia elevada para los rangos de tamaño que tienen el mayor peso de las partículas.

2.6.2 Características de la corriente gaseosa

Para evitar problemas en los dispositivos de control se deben conocer las características de la corriente gaseosas, tales como la temperatura, el contenido en humedad y gas. También es muy importante la consistencia de las partículas. Las partículas pegamosas y aceitosas se deben tratar con un dispositivo de control que no sea afectado negativamente por su consistencia.

3 DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Antecedentes

La empresa Cementos Lima ha venido reportando los últimos años un elevado nivel de emisiones de polvo de clinker en las chimeneas del enfriador del Horno II, habiéndose llegado a alcanzar valores de más de 4000 mg/m^3 ; superando los valores dados en normas ambientales a nivel nacional e internacional.

Según los valores de concentraciones de partículas de las mediciones realizadas entre los años 2000 y 2003, se determinó que el problema de emisiones se debe a la falta de eficiencia de los multiciclones existentes para capturar las partículas más finas de polvo presentes en el flujo de gases del enfriador de clinker.

Se decidió entonces, llevar a cabo un proyecto de mejora del sistema de captación existente; el proyecto contempló principalmente la remoción de los multiciclones originales reemplazándolos por un nuevo sistema de captación de partículas.

Se consideró dos alternativas: el precipitador electrostático y el filtro de mangas, ambos de mayor eficiencia de colección de polvos que la de multiciclones.

3.2 Identificación de las fuentes de emisión en el proceso de fabricación de cemento

Las emisiones del horno de cemento provienen, primariamente, de las reacciones físicas y químicas de las materias primas y, secundariamente, de la combustión de los combustibles. Los principales componentes de los gases de emisión del horno son partículas, dióxido de azufre y otros compuestos sulfurados (SO_2) y óxidos de nitrógeno y otros compuestos nitrogenados (NO_x).

La práctica en las cementeras, la literatura y las reglamentaciones, se focalizan en general en estos tres contaminantes; sin embargo, aunque considerados de menor importancia existen también: compuestos orgánicos volátiles, metales y sus compuestos, y el grupo de dioxinas y furanos.

Asimismo, debe considerarse relevante la emisión de dióxido de carbono (CO_2), el cual aún no siendo tóxico, su condición de gas generador de efecto invernadero hace cobrar gran importancia su reducción y control.

En todos los sistemas de horno cementero el material alimentado se mueve en contracorriente con el flujo de aire caliente de los gases de combustión, en íntimo contacto; las altas temperaturas y la reactividad del óxido de calcio promueven un medio excelente para retener los constituyentes peligrosos de los gases, propiciando un proceso inherente de limpieza de los mismos.

3.2.1 Partículas

La emisión de polvo es el impacto ambiental más significativo en la producción de cemento, debido a que su proceso de producción se realiza por el método de vía seca en el 80% de las plantas cementeras del mundo.

Las principales fuente de partículas son los hornos, los molinos de materias primas, enfriadores de clinker y molinos de cemento. En todos estos procesos, grandes volúmenes de gases fluyen a través de materiales pulverulentos, y el producto final también es un polvo fino.

La eficiencia de los modernos electrofiltros y filtros de mangas permiten reducir las emisiones de partículas de los focos principales a niveles muy bajos.

Fuentes secundarias de emisión de partículas son los almacenes y sistemas de manejo de los materiales.

El uso de materiales y combustibles secundarios no tiene influencia en la emisión de partículas del horno, que sólo depende de la eficiencia de los equipos de desempolvado.

La naturaleza del polvo recogido en los tres focos principales es: materias primas en las emisiones particuladas del horno, finos de clinker en el enfriador y producto final cemento en los molinos de cemento.

3.2.2 Otras emisiones

A causa de la maquinaria pesada y el gran tamaño de los ventiladores usados, se originan emisiones de ruido y vibraciones que pueden y deben limitarse a niveles de baja significación. Es muy infrecuente un problema de emisión de olores en fábricas de cemento. Tampoco es significativa la producción de residuos en la producción de cemento, a excepción del polvo del electrofiltro (o filtro de mangas) principal. Habitualmente es reciclado en el propio proceso; si no, deberá ser depositado adecuadamente en vertedero.

3.3 Niveles de concentraciones según las fuentes de emisión en el proceso de fabricación de Cementos Lima

Cementos Lima S.A. usa diferentes sistemas de captación de polvo en su sistema productivo. Se utilizan sistemas de aspersión de agua, ciclones, multiciclones, filtros de mangas y precipitadores electrostáticos.

En el cuadro siguiente se muestra las características de los diferentes sistemas de captación utilizados en Cementos Lima (CLSA):

Cuadro 6 Características de los Sistemas de Captación de Partículas de CLSA

Característica	Ciclón	Multiciclón	Filtro de Mangas	Filtro Electrostático
Principio de Funcionamiento	Centrifugado	Centrifugado	Aspiración y estancamiento en mangas de tela	Atracción de partículas cargadas por fuerzas electrostáticas
Temperatura del polvo	Hasta 875°C con material refractario	Hasta 875°C con material refractario	De 100 a 275°C	Hasta 400°C
Pérdida de presión (mmH ₂ O)	De 20 a 165	De 130 a 180	De 60 a 130	De 15 a 20
Tamaño de Partícula	Mayor de 20 µm	Mayor de 15 µm	Mayor de 1 µm	Mayor de 0,5 µm
Flujo o Velocidad Interna (m/seg)	Aprox. 25	Aprox. 350	Aprox. 17	Aprox. 1
Eficiencia (%)	85	De 85 a 94	99,95	99,90

Los diferentes tipos de captación de polvo, tienen diferentes valores de eficiencia, siendo los más eficientes el filtro de mangas y el precipitador electrostático.

El monitoreo de emisiones de material particulado y de gases en la Planta Industrial de Cementos Lima S.A., comprende la medición de las siguientes chimeneas:

- ✓ dos (02) de los Filtros de Mangas (Precalentador, Línea 2),
- ✓ dos (02) de los multiciclones del Enfriador de Clinker (Línea 2),
- ✓ una (01) de la Prensa de Crudo,
- ✓ una (01) de la Prensa de Clinker.

3.3.1 Resultados de monitoreo de emisiones de partículas

El cuadro 7 presenta a los resultados de los monitoreos de emisiones de partículas realizadas durante el año 2002.

Cuadro 7 Resultados Promedio Anuales de Material Particulado (Año 2002)

Equipo		Concentración (mg/m ³) ⁽¹⁾			LMP ⁽²⁾ (mg/m ³)
Nombre	Código	1 ^{er} Semestre	2 ^{do} Semestre	Promedio Anual	
Filtros de Mangas - Chimenea 1	FM 1	33,02	42,32	37,67	250,00
Filtros de Mangas - Chimenea 2	FM 2	17,13	28,43	22,78	
Enfriador de clinker - Chimenea 1	EC 1	4268,35	3770,31	4019,33	
Enfriador de clinker - Chimenea 2	EC 2	4628,01	4337,26	4482,64	
Prensa de crudo	PCDR 2	12,02	4,04	8,03	
Prensa de clinker	PCLK 2	179,06	3,42	91,24	

⁽¹⁾ Resultados @ Condiciones de Operación. (Ver Anexo D. páginas D-1 y D-2).

⁽²⁾ Límite Máximo Permisible para Material Particulado, D.S. N°003-2002-PRODUCE

El cuadro 8 presenta a los resultados de los monitoreos de emisiones de partículas realizadas durante el año 2003.

Cuadro 8 Resultados Promedio Anuales de Material Particulado (Año 2003)

Equipo		Concentración (mg/m ³) ⁽¹⁾			LMP ⁽²⁾ (mg/m ³)
Nombre	Código	1 ^{er} Semestre	2 ^{do} Semestre	Promedio Anual	
Filtros de Mangas - Chimenea 1	FM 1	51,95	19,22	35,59	250,0
Filtros de Mangas - Chimenea 2	FM 2	190,72	103,11	146,92	
Enfriador de clinker - Chimenea 1	EC 1	5373,74	3457,86	4415,80	
Enfriador de clinker - Chimenea 2	EC 2	5265,32	6220,17	5742,75	
Prensa de crudo	PCDR 2	28,12	-		
Prensa de clinker	PCLK 2	24,97	-		

⁽¹⁾ Resultados @ Condiciones de Operación. (Ver Anexo D, páginas D-3 y D-4)

⁽²⁾ Limite Máximo Permisible para Material Particulado, D.S. N° 003-2002-PRODUCE

3.3.2 Análisis de niveles de emisión de partículas de los años 2002 y 2003.

- ✓ En las chimeneas del enfriador de clinker se generan las mayores cantidades de emisiones de material particulado, presentando concentraciones superiores a 250 mg/m³, (LMP según la norma peruana para hornos de cemento según el DS N° 003-2002-PRODUCE del 04/10/2002). Los promedios anuales de las concentraciones de las dos chimeneas del enfriador superan aproximadamente 20 veces el LMP referencial.
- ✓ Las concentraciones registradas en el año 2003 son mayores que las obtenidas en el muestreo del año 2002, en un 16 %.
- ✓ En los registros realizados en los Filtros de Mangas del Precalentador, se puede observar que el FM 1 presenta concentraciones bajas similares a valores obtenidos en anteriores registros, manifestando un nivel de estabilidad y eficiencia de dicho filtro de mangas.
- ✓ Las emisiones de partículas de las chimeneas de las prensas de crudo y clinker y el molino de cemento se encuentran por debajo de los LMP referenciales y en niveles estables.

3.4 Planteamiento de solución - Implementación de nuevo sistema de captación de partículas.

Dentro del programa de inversiones del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) de la Planta Industrial de Cementos Lima S.A., está incluida la implementación de un nuevo sistema de captación de partículas que entraría en operación el año 2004. Con la implementación de este sistema se espera se minimice el nivel de emisiones reportado en los años 2002 y 2003; debido a que se trata del componente principal del cemento (75% - 95%).

3.4.1 Selección de sistema de captación y costos estimados de implementación

En el cuadro 9 se muestra los costos de dos alternativas de sistema de captación de partículas.

Cuadro 9 Presupuesto (\$) para implementación de sistemas de captación de partículas⁽¹⁾

Rubro	Sistema de Captación	
	Electrofiltro	Filtro de Mangas
Desmontajes	62 700	62 700
Fabricaciones	1018 802	1 500 055
Montajes	971 104	978 276
Suministros Nacionales	212 717	248 058
Suministros Importados	1016 797	2537 303
Adicionales	328 212	51 068
Imprevistos	722 066	165 019
Ingeniería Local	216 620	428 465
Ingeniería Externa	0 ⁽²⁾	583 636
TOTAL (En US \$/.)	4 549 021	5 970 944

⁽¹⁾ Fuente: Información de la empresa ARPL Industrial S.A. asesora de la implementación del proyecto (Ver Anexo C, páginas C-1 y C-3)

⁽²⁾ El costo de Ingeniería Externa no es considerada para la implementación de un electrofiltro, era la garantía del proveedor que implementó el sistema de captación por multiciclones.

Características de las Emisiones del Enfriador

Cuadro 10 Características de las Emisiones del Enfriador de Clinker

Parámetro	Unidad	Valor Promedio ⁽¹⁾
Flujo Volumétrico	m ³ /h	809 064
Velocidad de Gases	m/s	21,2
Flujo Másico	Kg/h	1 057 536
Temperatura de Gases	°C	305

⁽¹⁾ Elaboración propia. Fuente: Resultados de los monitoreos de emisiones de los años 2002 y 2003 (Anexo D, páginas de la D-1 a la D-4)

Teniendo en consideración las características de los gases emitidos por el proceso de enfriamiento de clinker, (cuadro 10), comparándolos con los parámetros de diseño de ambos sistemas de captación (cuadro 5), donde la variable crítica es la temperatura de emisión de gases, se observa que los filtros de mangas tienen ciertas limitaciones a trabajar con temperaturas mayores de 275 °C, en cambio los filtros electrostáticos soportan hasta 400 °C.

Por otro lado, de acuerdo a los costos estimados de ambos sistemas de captación, la propuesta para la implementación por medio de electrofiltros resulta más económica en un 24 % comparándolo con el de filtro de mangas.

3.5 Resultados de la Instalación del Electrofiltro

3.5.1 Mediciones de emisión de partículas – Año 2004

En diciembre del 2003, se implementó el nuevo sistema de captación de partículas por electrofiltro y después de su puesta en marcha, se realizaron mediciones de emisiones en la nueva chimenea del proceso en estudio (Anexo D), el resumen de los resultados obtenidos se muestran en el cuadro N°11.

Cuadro 11 Concentraciones de partículas a la salida del Electrofiltro - Marzo 2004

Descripción		Concentración (mg/m ³) ¹ – Método EPA 5				Normativa	
Parámetro	Unidad	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio	LMP	País
Conc. @ Cond. Operación ⁽¹⁾	mg/m ³	240,03	236,88	238,75	238,55	250	⁽⁶⁾ Perú
Conc. @ Cond. Estándar ⁽²⁾	mg/Sm ³	505,32	507,10	508,24	506,89		
Conc. @ Cond. Normales ⁽³⁾	mg/Nm ³	540,17	542,07	543,29	541,84	50,0	España
Conc. Peso a Peso	Kg/t clk ⁽⁴⁾	0,74	0,73	0,73	0,73	0,05	USA
Flujo de Partículas	Kg/h ⁽⁵⁾	228,39	227,52	227,39	227,77		

⁽¹⁾ Condiciones de Operación: T_{prom.}=340°C y Prom.=750,11 mmHg.

⁽²⁾ Condiciones Estándar: 25°C y 1 atm.

⁽³⁾ Condiciones Normales: 0°C y 1 atm.

⁽⁴⁾ Tasa emisión de partículas por tonelada de clínker producido durante el muestreo. (Anexo D. pág D-5)

⁽⁵⁾ Flujo másico de emisión de partículas por hora de operación del horno, bajo condiciones de operación actuales del sistema de enfriamiento de clínker.

⁽⁶⁾ Límite Máximo Permisible según el DS N° 003-2002-PRODUCE del 04/10/2002.

Como se observa en el cuadro N° 11, la concentración de partículas a condiciones de operación registrados en marzo de 2004 en la chimenea del electrofiltro, cuyo valor promedio de 238,55 mg/m³, se encuentra aproximadamente en un 5% por debajo del LMP establecido por la normativa peruana vigente (250,00 mg/m³).

De otro lado, la concentración a condiciones normales supera aproximadamente diez veces la norma española (50 mg/Nm³), con un valor promedio normal de 541,84 mg/Nm³.

Respecto de las concentraciones peso/peso expresados como kilogramo de partículas por tonelada de clinker producido (Kg/t Clk), los valores actuales se encuentran en un promedio de 0,73 Kg/t Clk y exceden aproximadamente en catorce veces la normativa internacional de USA (0,05 Kg/t Clk)

3.5.2 Comparación de resultados 2004 con años anteriores

Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos en marzo de 2004 con los registrados en los años 2002 y 2003, se preparó el siguiente cuadro consolidado:

Cuadro 12 Concentraciones de partículas a la salida del Electrofiltro - Marzo 2004

Enfriamiento de Clinker	Concentración por Sistema de Captación				Reducción de partículas
	Multiciclones			Electrofiltro	
Año	2002 ⁽¹⁾	2003 ⁽²⁾	Prom. 2002-2003	2004 ⁽³⁾	Eficiencia %
Chimenea	EC1+EC2	EC1+EC2	EC1+EC2	Electrofiltro1	
Kg/h	4321,04	4390,70	4355,87	227,77	94,77
Kg/t Clk	14,38	15,29	14,83	0,73	95,05
mg/m ³	5079,27	5428,02	5253,65	238,55	95,46

Elaboración Propia. Fuentes:

⁽¹⁾ Informe Monitoreo de Emisiones Gaseosas y Material Particulado - Informe Año 2002 (Anexo D, págs. D-1 y D-2)

⁽²⁾ Informe Monitoreo de Emisiones Gaseosas y Material Particulado - Informe Año 2003 (Anexo D, págs. D-3 y D-4)

⁽³⁾ Informe Monitoreo de Material Particulado. Enfriador Clinker - Línea 2 - Marzo, 2004 (Anexo D, pág. D-5)

Del cuadro 12, se observa que los resultados obtenidos en marzo de 2004 son menores comparándolos con los niveles registrados en el año 2002 y 2003. Esta reducción apreciable en las emisiones de partículas del proceso de enfriamiento de clinker, se debe fundamentalmente al cambio de tecnología en el sistema de captación de partículas, antes los flujos de gases y partículas eran depurados por el sistema de multiciclones, actualmente han sido reemplazados por el sistema de precipitadores electrostáticos (electrofiltros).

Tomando como referencia los resultados de las mediciones realizadas en los dos últimos años (2003 y 2002), las emisiones de partículas se han reducido en un 95 % aproximadamente comparando ambos sistemas de captación, lo cual indica la mejora del proceso por la mayor eficiencia en el nuevo sistema de captación de partículas.

3.5.3 Porcentaje de clínker recuperado con respecto a la producción

Con la finalidad de establecer una relación entre las partículas de emisión del proceso de enfriamiento de clínker respecto de la producción anual, se ha elaborado el siguiente cuadro:

Cuadro 13 Porcentaje de clínker recuperado

HORNO II		AÑOS				Partículas dejadas de emitir a la salida del electrofiltro
		2002	2003	Prom. 2002-2003	Estimado 2004	
Horas de operación ⁽¹⁾	h	7 430,75	5 742,8	6 586,78	6 586,78	
Producción de Clínker ⁽¹⁾	t	1 909 918	1 778 069	1 843 994	1 843 994	
Emisión de Partículas ⁽²⁾	Kg/h	4 390,70	4 321,04	4 355,87	227,77	4 128,10
Porcentaje de la Producción Anual	%	1,71	1,40	1,56	0,08	1,47

Elaboración Propia. Fuentes:

⁽¹⁾ Datos de Producción de la Línea N°2, de los años 2002 y 2003 (Anexo E)

⁽²⁾ Resultados de Monitoreo de Emisiones - Años 2002, 2003 y 2004 (Anexo D)

Del cuadro N° 13 se observa que las partículas de clínker que se emitían durante el proceso de enfriamiento, representaban el 1,56 % como promedio de la producción anual de clínker de los años 2002 y 2003, esta se ha reducido a 0,08 % en el año 2004. Estas emisiones de partículas dejadas de emitir por el proceso de enfriamiento de clínker representa el 1,47 % del total de la producción estimada para el año 2004, si bien refleja una pequeña incidencia como porcentaje de la producción total de clínker, en sí, su dimensión económica, social y ambiental es elevada, debido a que la industria cementera, utiliza en su proceso de fabricación de cemento grandes cantidades de materia prima y altos consumos de energía.

3.6 Valoración económica de material recuperado en el proceso de enfriamiento de clínker.

Las partículas que se emiten por las chimeneas del proceso de enfriamiento de clínker, es un producto intermedio denominado clínker, principal componente en la elaboración de cemento en un 95% aproximadamente, para el cemento tipo I denominado “Sol”, principal producto que provee la empresa Cementos Lima.

Con la finalidad de cuantificar la cantidad de partículas de clínker recuperadas y proceder a su valoración económica, consideraremos las partículas que se han dejado de emitir del proceso de enfriamiento de clínker, para lo cual empleando los costos de producción de clínker (CPclk) por tonelada y las horas de operación anual promedio del Horno II de los dos últimos años, se determina la valoración económica anual (\$) de clínker recuperado que ha obtenido la empresa, por la implementación de un nuevo sistema de captación de partículas (Cuadro N° 14).

Cuadro 14 Valoración de clínker recuperado en el proceso de enfriamiento

Proceso de Enfriamiento de Clínter		Sistema de Captación	
		Multiciclones	Electrofiltro
Descripción	Unidad	2002 - 2003	2004
Flujo de Partículas ⁽¹⁾	Kg/h	4 355,87	227,77
Partículas dejadas de emitir ⁽²⁾	Kg/h	4 128,10	
Horas de operación ⁽³⁾	h	6 586,78	
Costo de producción de clínker ⁽⁴⁾	\$/t	30,00	
Valoración de Clínter Recuperado	\$	815 726,83	

Elaboración Propia

⁽¹⁾ Resultados de los monitoreos de emisiones de los años 2002 y 2003 (Anexo D)

⁽²⁾ Cálculo directo.

⁽³⁾ Datos de Producción de la Línea N° 2. de los años 2002 y 2003 (Anexo E)

⁽⁴⁾ Costo referencial de la producción en la industria del cemento proporcionado por CLSA.

Del cuadro 14 se puede observar que el valor del material recuperado (dejado de emitir), en función de su costo de producción asciende a US \$ 815 726.

3.7 Periodo de recupero de la inversión

Para este proyecto se ha considerado oportuno trabajar con el Período de Recuperación de la Inversión (PRI), debido a que el proyecto tiene una vida larga, durante la cual los beneficios anuales producto de la valoración de clinker recuperado será estable en el tiempo, ya que desde hace cuatro años el Horno II trabaja en forma constante y porque dicha Línea tiene la mayor eficiencia de producción de clinker, en comparación con la Línea 1.

El proyecto de reducción de emisiones en el proceso de enfriamiento de clinker por medio de precipitadores electrostáticos, estimó una inversión de US \$ 4 549 021 (Ver Anexo C, página C-1), para lo cual la empresa Cementos Lima S.A. abrió una cuenta denominada ADI (Apertura de Inversiones) codificada con el número 420 con un monto estimado de US \$ 5 000 000,00 para la implementación de dicho proyecto. El proyecto estuvo a cargo de la Gerencia de Ejecución de Proyectos y contrataron a la empresa ARPL Industrial S.A. como ente asesor de la ingeniería y supervisión de los trabajos.

De acuerdo a la información proporcionada por Cementos Lima S.A. del estado de cuenta de la ADI 420, las inversiones realizadas se resumen en el Cuadro 15:

Cuadro 15 Resumen de Inversiones realizadas en la Implementación del Proyecto⁽¹⁾

Anexo	Concepto	Total (\$)
1000	Ingeniería, Supervisión y Asesoría	326 378,00
2000	Obras Civiles	354 511,00
3000	Equipos	1 240 196,00
6000	Desmontaje, Fabricación y Montaje	2 292 726,00
9000	Otros	38 699,00
TOTAL		4 252 509,00

⁽¹⁾ Elaboración propia. Fuente: Cementos Lima S.A.. ADI 420 - Reducción Emisiones Enfriador CK (Clinker) Horno 2 (Anexo C, páginas C-4 y C-5)

Como se observa en el Cuadro 15, la inversión total asciende a la cantidad de \$ 4 252 509,00.

Teniendo en consideración la inversión (I) realizada y la valoración de clinker (Vclk) recuperado, se tiene lo siguiente:

Período de Recupero de Inversión = Inversión / Valoración de clinker recuperado

$$PRI = \frac{I}{Vclk}$$

Reemplazando valores del Cuadro 14 y de la inversión realizada, se tiene:

$$PRI = \frac{\$4\,252\,509}{\$815\,726,83 / \text{año}} = 5,2 \text{ años}$$

El Período de Recupero de Inversión del proyecto de reducción de emisiones del proceso de enfriamiento de clínker es de 5,2 años, tiempo que a partir de la cual se obtendrán beneficios por los ahorros obtenidos en los costos de producción por la recuperación de clínker del proceso mencionado.

Podemos concluir que el PRI es atractivo, debido a que el tiempo de vida útil del funcionamiento de la Planta Industrial es de 50 años aproximadamente, vida útil estimada de acuerdo a las reservas de caliza en las Canteras de Atocongo.

La implementación de una nueva tecnología en la captación de partículas ha permitido que la empresa obtenga beneficios por la mejora de su proceso productivo, abarcando aspectos ambientales, sociales y económicas, ya que anteriormente las elevadas concentraciones incidían negativamente en la calidad de aire, no solamente de la planta sino también de las poblaciones vecinas ubicadas en los alrededores; situación que podría haber afectado la imagen institucional de dicha empresa.

4 CONCLUSIONES

- ✓ Los principales sistemas de captación de partículas utilizados en la fabricación de cemento son los filtros de mangas y electrofiltros.
- ✓ Las inversiones en el mejoramiento ambiental en plantas de cemento son elevadas (millones de dólares), debido a que su industria maneja grandes volúmenes de materia prima, insumos y energía.
- ✓ La selección del nuevo sistema de captación de partículas en el proceso de enfriamiento de clínker, está basada en la variable crítica de operación y en consideraciones económicas de inversión.
- ✓ La implementación de un nuevo sistema de captación de partículas por medio de electrofiltros en el proceso de enfriamiento de clínker, de la empresa en estudio, ha permitido reducir las emisiones de material particulado en un 95 % respecto de los multiciclones.
- ✓ Los niveles actuales de emisión de material particulado, medidos en marzo 2004, ($238,55 \text{ mg/m}^3$ - 541 mg/Nm^3 - $0,73 \text{ kg/t clk}$) se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles del Sector Cemento (250 mg/m^3) establecidos por la autoridad competente nacional, PRODUCE; pero por encima de niveles internacionales establecidos por países desarrollados como la norma española (50 mg/Nm^3) y de Estados Unidos ($0,05 \text{ Kg/t clk}$).
- ✓ Las partículas dejadas de emitir ($4\,128 \text{ Kg/h}$) por la implementación del nuevo electrofiltro, representa el 1,47 % de la producción anual promedio ($1\,843\,944 \text{ t clk}$) de los años 2002 y 2003.
- ✓ La valoración de clínker recuperado ($\$/\text{año}$) se ha realizado en función de los costos de producción de clínker por tonelada ($\$ 30$) y de las horas de operación promedio ($6\,586,78 \text{ h}$) de los años 2002 y 2003, la misma que ha ascendido a la cantidad de US \$ 815 726,83 por año.
- ✓ El Período de Recupero de la Inversión es de 5,2 años, determinado tomando en consideración la inversión realizada (US \$ 4 252 509,00) y la valoración de clínker recuperado (US \$ 815 726,83 por año).

5 RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- ✓ Continuar con los monitoreos de emisiones de material particulado, para controlar la efectividad del método de control implementado.
- ✓ Cumplir con el programa de mantenimiento previsto para el electrofiltro.

6 BIBLIOGRAFÍA

- ✓ INGENIERIA AMBIENTAL – Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. – Gerard Kiely – Editorial Mc Graw Hill/Interamericana de España – España 1999 – Tomo I – Cap. 1: Historia y Marco Legal.
- ✓ INGENIERIA AMBIENTAL – Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. – Gerard Kiely – Editorial Mc Graw Hill/Interamericana de España – España 1999 – Tomo II – Cap. 8: Contaminación Atmosférica.
- ✓ INGENIERIA AMBIENTAL – Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. – Gerard Kiely – Editorial Mc Graw Hill/Interamericana de España – España 1999 – Tomo III – Cap. 16: Control de Emisiones Industriales de Aire.
- ✓ INGENIERÍA DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE – Noel de Nevers – Editorial Mc Graw Hill/Interamericana Editores – México 1998 – Cap. 8 Naturaleza de los Contaminantes en Partículas.
- ✓ INGENIERÍA DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE – Noel de Nevers – Editorial Mc Graw Hill/Interamericana Editores – México 1998 – Cap. 9 Control de las Partículas Primarias.
- ✓ CUADERNO Nº 3 “CONTRIBUCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO A LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN EUROPA” – CER Club Español de Residuos – Grupo Hisalba - Septiembre, 2001
- ✓ “OPTIMIZACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL FILTRO ELECTROSTÁTICO DE LA PLANTA DE CEMENTOS LIMA S.A.” - Informe de titulación por examen profesional – Ing. Elec. Miguel Heredia Alvarez – UNI – FIEE - 1993
- ✓ GUÍA DE NOTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE LAS INSTALACIONES DE FABRICACIÓN DE CEMENTO Y CLINKER - Servicio de Actuaciones Integradas - Dirección General de Prevención y Calidad Ambiental - España - 2002

- ✓ GUIA TÉCNICA PARA LA MEDICIÓN, ESTIMACIÓN Y CÁLCULOS DE LAS EMISIONES AL AIRE - Sector Cemento - Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente - Editorial IHOBE / Sociedad Pública de Gestión Ambiental - Abril 2003
- ✓ NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTION - Proyecto de Norma Ambiental Ecuatoriana - Agosto 2002
- ✓ MANUAL DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE – Robert Alley & Associates, INC. – Editorial Mc Graw Hill Interamericana Editores – México 2001

ANEXOS

ANEXO A

A. Glosario de Términos

Cemento: El cemento es el ingrediente ligante o adhesivo del concreto. Esta compuesto principalmente por óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro en un 95%

Clinker: Producto intermedio del cemento, obtenido por la calcinación de la caliza a altas temperaturas (1400 – 1500 °C).

Clinkerización: También llamado Sinterización, es el proceso de obtención del clinker en la industria del cemento.

Contaminación Ambiental.- Acción que resulta de la introducción por el hombre, directa o indirectamente en el ambiente, de contaminantes que por su concentración, al superar los patrones ambientales establecidos o por el tiempo de permanencia, hagan que el medio receptor adquiera características diferentes a las originales, perjudiciales y nocivas a la naturaleza o a la salud.

Control de la Contaminación - Tratamiento.- Prácticas destinadas a reducir, mitigar o eliminar el efecto contaminante de los residuos o formas de energía resultado de las emisiones o efluentes que se dan al final del proceso de producción.

Crudo: Es la piedra caliza molida con un grado de finura como el talco (malla 200).

Dato de Emisión Medido: Dato de emisión con base en medidas realizadas utilizando métodos normalizados o aceptados; aunque sea necesario realizar cálculos para transformar los resultados de las medidas en datos de emisión.

Dato de Emisión Calculado: Dato de emisión con base en cálculos realizados utilizando métodos de estimación aceptados nacional e internacionalmente y factores de emisión, representativos del sector industrial.

Dato de Emisión Estimado: Dato de emisión basado en estimaciones no normalizadas, deducido de las mejores hipótesis o de opiniones autorizadas; puede provenir de opiniones autorizadas no basadas en referencias disponibles publicadas.

Emisiones Gaseosas: Composición de gases generados por procesos productivos o de origen natural.

EPA (Environmental Protection Agency) - Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, entidad que ha aprobado una variedad de métodos de análisis de emisiones aceptables para uso en la demostración de cumplimiento de las normas federales de emisiones. La mayoría de los métodos están publicados en el Título 40 del Code of Federal Regulations (Código de Regulaciones Federales), sección 60, Apéndice A.

Fuentes Fijas.- Actúa sobre las fábricas o establecimientos que contaminan el aire, obligando a reducir el vertido de contaminantes a la atmósfera, cuando comprueba que se exceden los niveles de calidad de aire en el entorno fabril, ejerciendo acciones legales de intimación y/o clausura.

Fuentes Móviles.- Mide la cantidad de contaminantes emitida por los caños de escape de los vehículos; el monóxido de carbono, los hidrocarburos y las partículas carbonosas en suspensión, y ejerce las acciones legales que correspondan, multando a los que exceden los límites permisibles.

Instrumentos Económicos.- Medidas que actúan sobre los costos o beneficios para modificar el comportamiento de los actores económicos en modo favorable a la protección del ambiente.

Límite Máximo Permisible para emisiones de los hornos: Nivel de concentración o cantidad de uno o más elementos o compuestos de los hornos que se descargan al ambiente, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Es fijado por la Autoridad Competente y es legalmente exigible.

Límite Máximo Permisible.- Nivel de concentración o cantidades de uno o más contaminantes, por debajo del cual no se prevé riesgo para la salud, el bienestar humano y los ecosistemas, que es fijado por la Autoridad Competente y es legalmente exigible. Los Límites Máximos Permisibles son revisados por la Autoridad Competente cada cinco años.

Material Particulado: Son partículas que se emiten por las chimeneas de los diversos procesos productivos.

Monitoreo Atmosférico.- es el conjunto de acciones técnicas basadas en metodologías diseñadas para muestrear y analizar las concentraciones de sustancias ó contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido, durante un tiempo determinado, procesando los datos obtenidos y con objetivos prefijados.

Muestreo Isocinético: El muestreo isocinético significa que la velocidad con la que entra el gas de chimenea en una tobera de muestreo, es igual a la velocidad del gas de chimenea que fluye después de pasar la tobera.

El muestreo isocinético es importante para las partículas porque la velocidad a la cual se muestrea el gas afecta el resultado de la prueba. Si el muestreo se realiza superisocinéticamente, entonces la concentración de partículas estará por debajo de la concentración real de partículas en el gas de chimenea.

La razón física por la cual el muestreo isocinético es importante en el muestreo de partículas se debe a la inercia de las partículas al moverse a través de la chimenea y el efecto del muestreo sobre los patrones de flujo local en el área inmediata a la tobera.

Patrones Ambientales.- Son las normas, directrices, prácticas, procesos e instrumentos, definidos por la Autoridad Competente con el fin de promover políticas de prevención, reciclaje y reutilización y control de la contaminación en el sector de la industria manufacturera . Los Patrones Ambientales incluyen los Límites Máximos Permisibles de emisión.

Prevención de la Contaminación.- Prácticas destinadas a reducir o eliminar la generación de contaminantes o contaminación en la fuente generadora por medio del incremento de la eficiencia en el uso de las materias primas, energía, agua y otros recursos. La reducción de contaminación en la fuente generadora podrá incluir modificaciones en los equipos o tecnologías, cambios en los procesos o procedimientos, reformulación o rediseño de productos, sustitución de materias primas, mejoras en el mantenimiento, entrenamiento del personal y controles de inventario.

Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA).- Programa que contiene las acciones, políticas e inversiones necesarias para reducir prioritariamente la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes que ingresan al sistema o infraestructura de disposición de residuos o que se viertan o emitan al ambiente; realizar acciones de reciclaje y reutilización de bienes como medios para reducir los niveles de acumulación de desechos y prevenir la contaminación ambiental; y reducir o eliminar las emisiones o vertimientos para poder cumplir con los patrones ambientales establecidos por la Autoridad Competente.

Protocolo de Monitoreo.- Serie ordenada de pasos o acciones de estricto cumplimiento, necesarios para evaluar una situación específica y obtener la información lograda a través del muestreo.

Sistema de Captación de Partículas: Es aquel que permite eliminar/reducir/mitigar las emisiones de material particulado al ambiente.

Valor Referencial: Nivel de concentración de contaminantes o valor de parámetro físico y/o químico que debe ser monitoreado obligatoriamente para el establecimiento de los límites máximos permisibles.

Valoración: Es la cuantificación de pérdida /ahorro/ ganancia por la aplicación o implementación de un nuevo orden o sistema de un determinado proceso.

ANEXO B

B. Proceso de Fabricación de Cemento en el Perú

El proceso de producción se inicia con la extracción de las materias primas (caliza y otros) de la zona de canteras mediante un sistema de explotación superficial (tajo abierto).

La caliza se transforma en un producto intermedio debidamente balanceado denominado clinker, por un proceso de transformación físico-químico a alta temperatura (1 450°C). El clinker finamente molido con yeso da como producto final los Cementos Portland Tipo I al V. Si a esta mezcla se le adiciona puzolana en el momento de la molienda, se obtendrá el Cemento Portland Puzolánico.

Las etapas del proceso industrial, se describen a continuación:

Proceso	Etapas
Reducción del tamaño de la caliza y su homogeneización	Chancado primario, Chancado secundario, Pre-homogeneización Molienda y homogeneización
Obtención del clinker	Precalentamiento Clinkerización Enfriamiento
Obtención del Cemento	Molienda, Envasado y Despacho

Proceso Productivo

En el país se usan dos procesos principales para la fabricación del cemento:

1. El proceso seco donde las materias primas son reducidas a un tamaño apropiado, luego son molidas, mezcladas y alimentadas al horno para formar el clinker, después del cual se agrega yeso al clinker y la mezcla final es molida para formar el cemento portland.
2. El proceso húmedo, difiere del anterior en que para adecuar la materia prima, se agrega agua durante la molienda, luego el material es agregado al horno en la forma de un lodo (slurry).

Nueve hornos de cemento operan en proceso seco, y representan el 96% de la producción de clinker nacional. Uno de estos hornos es vertical, con una capacidad de 50 mil toneladas al año, actualmente se esta instalando otro de este tipo, con una capacidad de 125 mil toneladas al año. Solo existen 02 hornos que operan en proceso húmedo que significan el 4 % de la producción nacional.

Empresas Productoras de Cemento, por Tipo de Proceso

Empresa	Ciudad	N° de hornos			
		Seco	PH	PC	Hum.
Cementos Lima (1)	Lima	2	2	1	0
Cementos Pacasmayo (2)	La Libertad	2	1	1	0
Cemento Andino (3)	Junín	2	-	2	0
Cementos Yura	Arequipa	2	2	0	0
Cementos Sur	Puno	0	0	0	2
Cementos Selva (4)	San Martín	1	0	0	0
Total		9	5	4	2
Total Plantas: 06		Total hornos: 11			

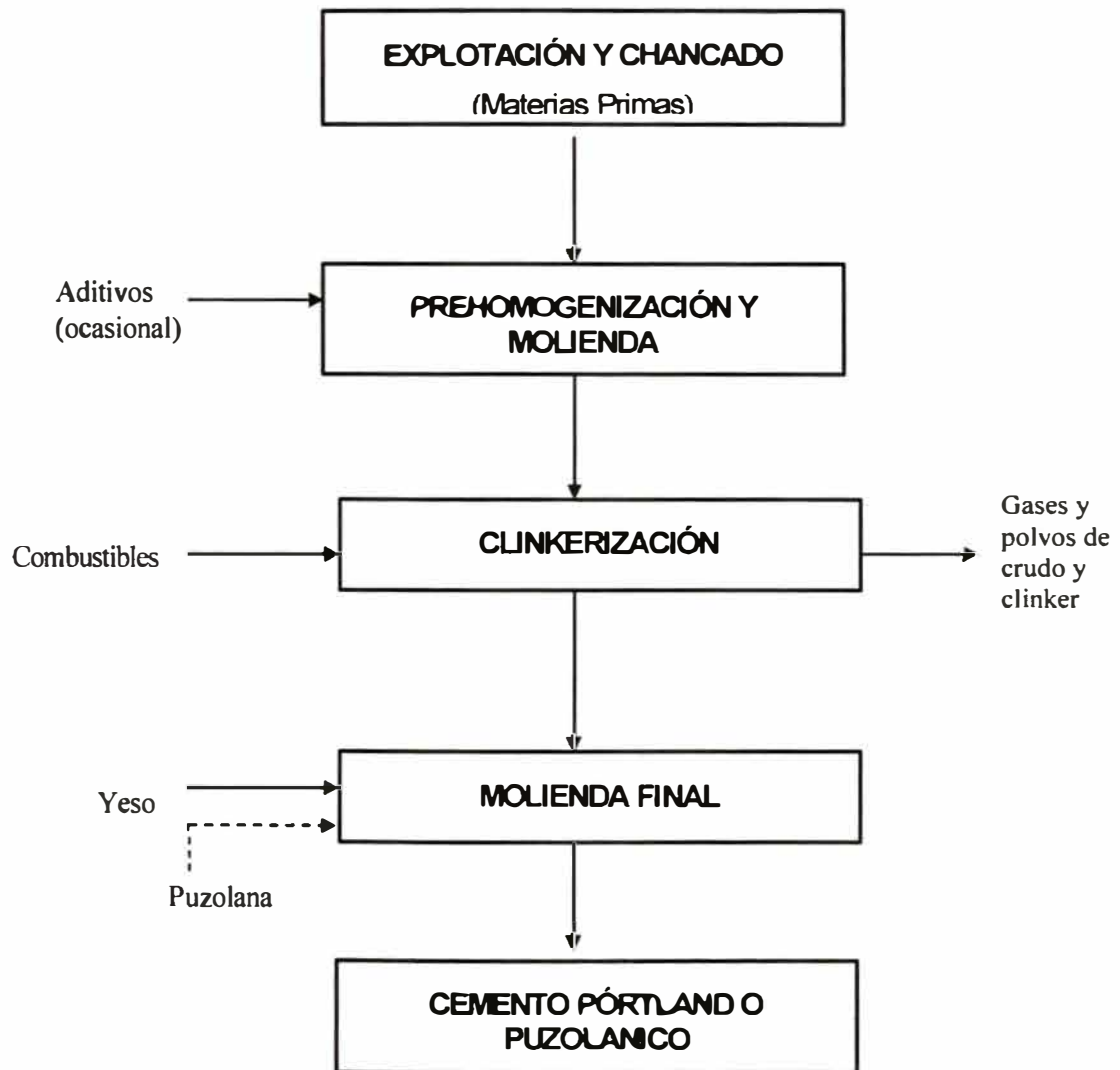
PH : pre calentador

PC: pre calcinador

Nota:

- ✓ 01 horno de Cementos Lima tiene sistema combinado de pre calentador y pre calcinador, y el otro horno solo pre calentador
- ✓ C. N. Pacasmayo no incluye el horno de cal de 250 TM/día, que es de proceso seco, sin pre calentador ni pre calcinador
- ✓ Cemento Andino no incluye el horno 1 de 250 TM/día, que se encuentra parado por decisión de la empresa
- ✓ Cemento Selva actualmente esta instalando un horno de proceso seco de 300 TM/día

La siguiente figura, muestra un Diagrama de Flujo Básico para la Fabricación de Cemento Portland.



ANEXO C

C. Expediente de empresa asesora ARPL Tecnología Industrial S.A.



ARPL Tecnología Industrial S. A.

CEMENTOS LIMA S.A.

GERENCIA DE PROYECTOS

FAX/TEC N° E-0062/09
N° Fax: 217-1496

DT-0022/01

FECHA / DATE : 5 Enero 2001
 PARA / TO : CEMENTOS LIMA S.A.
 ATT. : Ing. Antonio Noriega

DE / FROM : Ing. Enrique Rozas Schmitt
 FAX N° : 470 2339
 PAGINA / PAGE : 1 DE / OF 2

ASUNTO / REF. : PROYECTO DE REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DEL
 ENFRIADOR DE CLINKER DEL HORNO II DE LA PLANTA
 DE CEMENTOS LIMA S.A.

Cotización Preliminar

Estimado Ingeniero

Por la presente adelantamos el presupuesto preliminar correspondiente al proyecto de instalación de dos nuevos precipitadores electrostáticos sobre el edificio del enfriador de clinker que operarán en línea con el enfriador y permitirán reducir el actual nivel de emisiones al ambiente. Un croquis del proyecto se muestra en la figura adjunta.

Item	Costo (US\$)	Peso Referencial (tons)
Desmontajes	62,700	84
Fabricaciones	1,018,802	402
Montajes	971,104	762
Suministros Nacionales	212,717	24
Suministros Importados	1,016,797	270
Adicionales (10%)	328,212	
Imprevistos (20%)	722,066	
SUB TOTAL	4,332,401	
Ingeniería ARPL (5%)	216,620	
TOTAL	4,549,021	
IGV	818,823	
PRECIO	5,367,845	

ARPL Tecnología Industrial S.A. - Calle Comercio 1111 - Lima 1 - Perú

INSCRITA A FS. 399 DEL TOMO 423 ASIENTO 11 DEL REGISTRO MERCANTIL DE LIMA
 AV. CARLOS VILLARAN 508 OF. 401, LIMA 13; CASILLA (P.O. BOX) 14-0138 LIMA 14 - PERU
 TEL.: (511) 265-7272; FAX: (511) 470-2338, R.U.C. 10007933

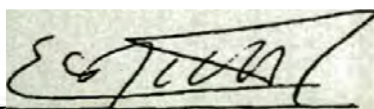
Página 2 de 2
DT-

El metrado y el presupuesto se ha estimado en base a las siguientes apreciaciones:

1. Se considera la compra de nuevos electrodos de precipitación y nuevos electrodos de ionización.
2. Se considera la compra de nuevos transformadores y equipo eléctrico.
3. Se considera la construcción de los filtros sobre estructuras metálicas de soporte por encima del nivel de los multiciclones. Se reforzará el edificio existente.
4. Se considera reutilizar los ventiladores de tiro existentes y se asume que pueden adaptarse a la nueva carga
5. Se considera la reubicación de los ventiladores para hacer más espacio en los ductos de ingreso a los filtros.
6. Se considera la descarga del material captado hacia el elevador de clinker.
7. Se considera la fabricación local de todas las estructuras.
8. No se ha considerado reutilizar ningún componente de los electrofiltros de ventilación del Homo I.

Atentamente

**ARPL TECNOLOGIA
INDUSTRIAL S.A.**



ING. ENRIQUE ROZAS SCHMITT
Dpto. Técnico

cc:

- R. Rizo Patrón
- J. Sotomayor
- Ing. Carlos Ugás (CLIMA)

**COSTO DEL FILTRO DE MANGAS F.L.SMIDTH
ADI 117 : AMPLIACION DE PLANTA PRIMERA ETAPA
(CIFRAS EN DOLARES)**

	Filtro	ID Fan	Filter Fan	Ductos	TOTAL
GASTOS DIRECTOS					
OBRA CIVIL	396.170	18.254	15.658	45.989	476.070
SUMINISTRO F. L. SMIDTH	1.698.538	937.638	395.103	443.682	3.474.941
FABRICACIONES CONTRATO GMA / FAMILIA	385.127	11.291	7.816	251.638	655.870
MONTAJE MECANICO / ESTRUCTURAL CONTRATO COSAPI	601.419	17.091	8.045	368.812	995.367
AISLAMIENTO (CE 707-98 CALIENES)	132.294			115.764	248.058
EQUIPAMIENTO ELECTRICO FLS / SIEMENS	164.002	553.940	213.658		951.600
TOTAL DE GASTOS DIRECTOS	3.397.550	1.538.213	640.279	1.225.863	6.801.906
GASTOS INDIRECTOS					
INGENIERIA FORANEA CONTRATADA FLS	390.702	215.878	90.883	102.052	799.314
GASTOS LOCALES SUPERVISION FLS	34.168	18.872	7.952	8.930	69.940
HONORARIOS A R P L (Inc. Reembolsables)	288.828	158.335	66.720	74.920	588.800
GASTOS ADMINISTRACION CEMENTOS LIMA	110.468	60.981	25.696	28.854	226.000
TOTAL DE GASTOS INDIRECTOS	822.182	453.866	191.251	214.756	1.682.054
GRAN TOTAL	4.219.732	1.992.079	831.530	1.440.619	8.483.960

Cementos Lima S.A.
Adi

Estado del ADI
420 - REDUCCIÓN EMISIONES ENFRIADOR CK HORNO 2
Al: 28/06/2004
(Dólares)

420

Fecha Emisión : 27/03/2002 Presupuestado : Si Fecha : 30/06/2004
Fecha Cierre : Supervisor : SOLIMANO A. Hora : 12:20 am
Estimado Ejecución : 01/03/2002 a 31/01/2003 Superintendencia : GEP Pág. : 1 de 2

Anexo	Concepto	Presupuesto	Compromisos	Acum. Ant.	Pla. Mes	Total Acum.	Saldo por Ejecutar
1000	INGENIERÍA, SUPERVISIÓN Y ASESORÍA						
1100	Ingeniería, supervisión y asesoría local						
1101	Ingeniería, supervisión local	50,000		15,354	-3,486	11,868	38,132
1121	Asesoría ARPL	235,238		314,327	184	314,510	-79,272
	Total Anexo	285,238		329,681	-3,303	326,378	-41,140
2000	OBRAS CIVILES						
2100	Obras preliminares						
2101	Estudios y pruebas	450,000		384		384	449,616
2102	Trámites y licencias			2,187		2,187	-2,187
2200	Obras civiles						
2201	Cemento			13,530	279	13,809	-13,809
2202	Concreto puzolánico			54,921		54,921	-54,921
2203	Acero corrugado			31,467		31,467	-31,467
2204	Obras civiles contratadas			253,837	-2,093	251,744	-251,744
	Total Anexo	450,000		358,325	-1,815	354,511	95,489
3000	EQUIPO						
3100	Suministros importados						
3101	Equipo mecánico	1,016,787		585,535	114,811	680,146	336,651
3102	Equipo eléctrico						
3103	Otros equipos y materiales			69,058	3,894	72,952	-72,952
3200	Suministros nacionales						
3201	Equipo mecánico	212,717		73,823	-11,047	62,876	149,841
3202	Equipo eléctrico			43,403	-18,821	26,482	-26,482
3203	Otros equipos y materiales			398,759	-1,020	397,739	-397,739
3300	Suministros de accio. semienta						
3301	Materia de accionamiento del horno	100,000					100,000
	Total Anexo	1,329,514		1,150,678	89,518	1,240,196	89,318
6000	DESMONTAJE, FABRICACIÓN Y MONTAJE						
6100	Desmontaje						
6101	Desmontaje	62,700		41,528		41,528	21,172
6200	Fabricación y montaje						
6201	Fabricación	1,018,802		1,567,946	22,493	1,590,438	-571,636
6202	Montaje mecánico	971,104		673,968	-81,164	592,804	378,300
6203	Montaje eléctrico	140,000		57,644	10,311	67,956	72,044
	Total Anexo	2,192,606		2,341,086	-48,360	2,292,726	-100,120

Cementos Lima S.A.
Adi

Estado del ADI
420 - REDUCCIÓN EMISIONES ENFRIADOR CK HORNO 2
AJ: 28/06/2004
(Dólares)

420

Fecha Emisión : 27/03/2002

Presupuestado : SI

Fecha : 30/06/2004

Fecha Cierre

Supervisor : SOLIMANO A.

Hora : 12:20 am

Estimado Ejecución : 01/03/2002 a 31/01/2003

Superintendencia : GEP

Pág : 2 de 2

Anexo	Concepto	Presupuesto	Compromisos	Acum. Ant.	Pte. Mes	Total Acum.	Saldo por Ejecutar
8000	PUESTA EN MARCHA						
8100	Puesta en marcha						
8101	Puesta en marcha	50,000					50,000
	Total Anexo	50,000					50,000
9000	OTROS						
9300	Gastos operativos CL						
9301	Gastos operativos y serv generales ofic	10,000		636	1	636	9,364
9302	Gastos de personal CELMA	50,000		5,283		5,283	44,717
9900	Otros						
9901	Imprevistos	304,430		7,476	-4,016	3,458	300,972
9902	Adicionales	243,212		6,351	-79	6,272	236,940
9903	Gastos de grúa	25,000		23,050		23,050	1,951
9904	Repuestos	60,000					60,000
	Total Anexo	682,642		42,795	-4,096	38,899	653,943
	Totales	5,000,000		4,220,564	31,945	4,252,508	747,491

* Saldo Neto= Total Presupuesto-Total Compromiso-Total Acumulado

* Saldo Neto 747,491

Observaciones

PACHAS VENAZAR ROSA TERESA	14/05/2003	GEP/DC solicitó apertura ax 3301-Material accionamto horno x \$100 mil tomado del ax 9901-Imprevistos
PACHAS VENAZAR ROSA TERESA	10/06/2003	Reunión may 23: obra civil al 100% y fabricación y montaje al 60%
PACHAS VENAZAR ROSA TERESA	04/09/2003	GEP/DC solicitó apertura ax 8101-Puesta en marcha x \$50 mil tomados del ax 9901-Imprevistos.
PACHAS VENAZAR ROSA TERESA	23/09/2003	GEP/DC solicitó apertura ax 9903-Gastos de grúa x \$25 mil tomados del ax 9902-Adicionales.
PACHAS VENAZAR ROSA TERESA	14/10/2003	GEP/DC solicitó apertura ax 9904-Repuestos x \$80 mil tomados del ax 9902-Adicionales.

ANEXO D

D. Resultados de Monitoreo de Emisiones – Años 2002, 2003 y 2004

1^{er} Semestre 2002

Parámetros	Unidades	Filtro de Mangas Línea 2		Enfriador de Clinker Línea 2		Prensa de Crudo	Prensa de Clinker	Molino de Crudo	Límites Máximos Permisibles mg/Nm ³
		FM LP (FM 1)	FM LC (FM 2)	EC LP (EC 1)	EC LC (EC 2)	PCDR 2	PCLK 2	MOLB CRD	
Flujo Volumétrico (1)	m ³ /h	365459.30	431596.55	349185.96	371113.92	69032.41	57426.86	20536.72	
Flujo Volumétrico (2)	m ³ /h	226337.08	271916.03	178002.44	186882.96	67133.93	52882.16	19400.42	
Velocidad de Gases	m/s	10.91	12.82	18.60	19.83	12.41	10.30	3.83	
Tiempo de Emisión	h/d	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	
Flujo Másico (1)	Kg/h	528802.31	616905.88	476544.18	508017.72	95164.82	79023.40	29398.49	
Partículas (3)	mg/ m ³	33.02	17.13	4268.35	4628.02	12.02	179.08	14.94	250.00
Partículas (4)	mg/ m ³ N	58.46	29.73	9116.22	10022.01	13.45	211.61	18.04	
Monóxido de Carbono (3)	mg/ m ³	577.05	467.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1150.00
Oxidos de Nitrógeno (3)	mg/ m ³	1337.53	1141.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1800.00
Dióxido de Azufre (3)	mg/ m ³	981.89	906.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2000.00
Oxígeno	%	4.70	6.70	20.90	20.90	20.90	20.90	20.90	
Temperatura de Gases	°C	200.19	192.15	301.92	308.99	28.29	45.19	37.17	
Temperatura de Ambiente	°C	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	
Dióxido de Carbono	%	14.33	12.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Exceso de Aire	%	1.29	1.46	--	--	--	--	--	
Eficiencia de Combustión	%	91.50	91.10	--	--	--	--	--	
Altura de Chimenea	m	93.00	93.00	32.00	32.00	12.55	12.55	9.55	
Diámetro Equivalente	cm	3.55	3.55	2.65	2.65	1.45	1.45	1.45	
Tipo de Combustible		Carbón	Carbón	--	--	--	--	--	
Procesamiento de Línea	Tn/d	425.00	466.00	464.00	467.50	275.00	113.00	137.00	
Porcentaje de Azufre	%	0.70	0.70	--	--	--	--	--	
Límite Permisible (5)	mg/ m ³	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	
Flujo Emisión Max. (6)	Kg/h	91.36	107.90	87.30	92.78	17.26	14.36	5.13	
Flujo Actual Emisión (7)	Kg/h	12.37	7.56	1515.22	1751.88	0.84	10.47	0.33	

(1) Flujo en base seca @ Cond. Op. (2) Flujo Volumétrico en base seca @ C.Std. (3) Concentración Promedio @ Cond. Op. (4) Concentración Promedio @ C. N. (5) Límites Máximos Permisibles según el DS N°003-2002-PRODUCE, Normas del World Bank (General environmental guidelines) y Venezolanas. (6) Relación entre los LMP y los flujos volumétricos en base seca a condiciones de operación. (7) Relación entre las concentraciones medidas y los flujos volumétricos en base seca a condiciones de operación.

2^{do} Semestre 2002

Parámetros	Unidades	Filtro de Mangas Línea 2		Enfriador de Clinker Línea 2		Prensa de Crudo	Prensa de Clinker	Molino de Cemento	Límites Máximos Permisibles mg/Nm ³
		FM LP (FM 1)	FM LC (FM 2)	EC LP (EC 1)	EC LC (EC 2)	PCDR 2	PCLK 2	MOL SWING	
Flujo Volumétrico (1)	m ³ /h	496952.10	446996.38	373729.58	451290.76	67919.24	57175.83	64336.45	
Flujo Volumétrico (2)	m ³ /h	310230.88	274797.08	198854.39	223542.78	63540.37	50865.71	54306.34	
Velocidad de Gases	m/s	14.38	13.28	19.29	23.24	13.00	10.55	12.13	
Tiempo de Emisión	h/d	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	
Flujo Másico (1)	Kg/h	670885.33	503445.11	482111.16	582165.08	87615.82	73756.83	82994.02	
Partículas (3)	mg/m ³	42.32	28.43	3770.31	4337.26	4.04	3.42	60.56	250.00
Partículas (4)	mg/m ³ N	75.39	50.73	7707.58	9502.47	4.70	4.19	78.18	
Monóxido de Carbono (3)	mg/m ³	105.32	89.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1150.00
Oxidos de Nitrógeno (3)	mg/m ³	668.47	644.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1800.00
Dióxido de Azufre (3)	mg/m ³	1328.58	1170.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2000.00
Oxígeno	%	6.93	7.50	20.90	20.90	20.90	20.90	20.90	
Temperatura de Gases	°C	204.45	203.70	277.80	318.40	39.71	56.37	74.14	
Temperatura de Ambiente	°C	22.00	22.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
Dióxido de Carbono	%	12.37	11.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Exceso de Aire	%	1.50	1.57	-	-	-	-	-	
Eficiencia de Combustión	%	86.85	86.23	-	-	-	-	-	
Altura de Chimenea	m	93.00	93.00	32.00	32.00	12.55	12.55	12.55	
Diámetro Equivalente	cm	3.55	3.55	2.65	2.65	1.45	1.45	1.45	
Tipo de Combustible		Carbon	Carbon	-	-	-	-	-	
Procesamiento de Línea	Tn/d	464.00	460.00	301.33	310.33	351.67	142.00	64.00	
Porcentaje de Azufre	%	0.50	0.50	-	-	-	-	-	
Límite Permisible (5)	mg/m ³	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	
Flujo Emisión Max. (6)	Kg/h	124.24	111.75	53.43	112.82	16.96	14.29	16.08	
Flujo Actual Emisión (7)	Kg/h	20.77	13.03	1435.30	1989.85	0.25	0.20	3.97	

(1) Flujo en base seca @ Cond. Op (2) Flujo Volumétrico en base seca @ C Std (3) Concentración Promedio @ Cond. Op (4) Concentración Promedio @ C N (5) Límites Máximos Permisibles según el DS N°003-2002-PRODUCE Normas del World Bank (General environmental guidelines) y Venezolanas (6) Relación entre los LMP y los flujos volumétricos en base seca a condiciones de operación (7) Relación entre las concentraciones medidas y los flujos volumétricos en base seca a condiciones de operación

Resumen Total del Monitoreo de Emisiones Gaseosas y Material Particulado (Valores Promedio). 1^{er} Semestre 2003

Parámetros	Unidades	Filtro de Mangas Línea 2		Enfriador de Clinker Línea 2		Prensas de Crudo	Prensas de Clinker	MOL Cemento	Molino de Carbón				Límites Máximos Permisibles mg/m3
		FM LP (FM 1)	FM LC (FM 2)	EC LP (EC 1)	EC LC (EC 2)				MCar 1*	MCar 2*	MCar 1	MCar 2	
Flujo Volumétrico (1)	m3/h	449181.28	466558.08	458143.00	454241.15	34308.57	70397.66	72755.64	--	--	68583.53	49420.54	
Flujo Volumétrico (2)	m3/h	254066.48	265991.47	213185.01	212048.63	30231.30	58171.92	53539.19	--	--	54849.34	38384.52	
Velocidad de Gases	m/s	12.61	13.09	23.07	22.88	5.77	11.84	12.24	2.70	7.40	8.60	6.50	
Tiempo de Emisión	h/d	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	--	--	24.00	24.00	
Flujo Másico (1)	Kg/h	606394.73	629853.41	591004.48	585971.09	44258.06	90812.98	93854.78	--	--	91216.09	66223.53	
Partículas (3)	mg/ m3	51.95	190.72	5265.32	5373.74	28.12	24.97	88.23	60.00	32.00	295.19	144.61	250.00
Partículas (4)	mg/ m3N	90.16	329.07	11541.78	11835.06	31.79	28.98	115.62	--	--	391.47	192.55	
Monóxido de Carbono (3)	mg/ m3	512.04	216.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	118.00	564.90	104.80	183.45	1150.00
Oxidos de Nitrógeno (3)	mg/ m3	872.24	540.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.80	772.70	506.40	701.06	1800.00
Dióxido de Azufre (3)	mg/ m3	535.25	537.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	0.00	658.53	109.16	2000.00
Oxígeno	%	6.45	7.15	20.90	20.90	20.90	20.90	20.90	15.00	8.80	11.75	10.90	
Temperatura de Gases	°C	192.66	189.67	321.73	319.25	30.54	39.32	80.86	93.00	92.00	85.52	85.09	
Temperatura de Ambiente	°C	23.00	20.70	22.70	28.70	15.00	15.00	16.00	26.00	27.50	16.00	18.00	
Dióxido de Carbono	%	13.10	12.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	--	--	8.28	8.81	
Exceso de Aire	%	41.30	45.33	--	--	--	--	--	--	--	125.67	98.00	
Eficiencia de Combustión	%	87.12	86.10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Altura de Chimenea	m	93.00	93.00	32.00	32.00	12.55	12.55	9.55	--	--	12.62	12.92	
Diámetro Equivalente	cm	3.55	3.55	2.65	2.65	1.45	1.45	1.45	--	--	1.68	1.64	
Tipo de Combustible		Carbón	Carbón	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Alimentación de crudo	Tn/hr	474.00	474.67	477.67	475.67	--	--	--	--	--	--	--	
Producción de clinker	Tn/hr	300.00	300.42	302.32	301.05	--	--	--	--	--	--	--	
Producción prensa crudo N°2	Tn/hr	--	--	--	--	313.67	--	--	--	--	--	--	
Producción prensa clinker N°2	Tn/hr	--	--	--	--	--	119.00	--	--	--	--	--	
Producción molino cemento	Tn/hr	--	--	--	--	--	--	139.67	--	--	--	--	
Producción molino carbón P1	Tn/hr	--	--	--	--	--	--	--	36.32	--	28.71	--	
Producción molino carbón P2	Tn/hr	--	--	--	--	--	--	--	--	21.58	--	20.90	
Porcentaje de Azufre	%	0.70	0.70	--	--	--	--	--	--	--	0.70	0.70	
Límite Permisible (5)	mg/ m3	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	
Flujo Emisión Max. (6)	Kg/h	99.21	103.20	106.34	105.33	7.70	15.24	15.89	--	--	16.90	11.53	
Flujo Actual Emisión (7)	Kg/h	21.43	81.87	2289.54	2360.21	0.90	1.58	5.79	--	--	20.08	6.92	

(1) Flujo en base seca @ Cond. Op. (2) Flujo Volumétrico en base seca @ C.N. (3) Concentración Promedio @ Cond. Op. (4) Concentración Promedio @ C. N. (5) Límites Máximos Permisibles según el DS N°003-2002-PRODUCE Normas del Export - Import Bank of USA General environmental guide lines. (6) Relación entre los LMP y los flujos volumétricos en base seca a condiciones de operación. (7) Relación entre las concentraciones medidas y los flujos volumétricos en base seca a condiciones de operación.

** Resultados reportados por la empresa Walsh Peru S.A. (Febrero 2003).

Resumen Total del Monitoreo de Emisiones Gaseosas y Material Particulado (Valores Promedio). 2^{do} Semestre 2003

Parámetros	Unidades	Filtro de Menges Línea 2		Enfriador de Clinker Línea 2		Molinos de Carbón - Octubre		Molinos de Carbón - Noviembre		Límites Máximos Permisibles mg/m ³
		FM LP (FM 1)	FM LC (FM 2)	EC LP (EC 1)	EC LC (EC 2)	MCar 1	MCar 2	MCar 1	MCar 2	
Flujo Volumétrico (1)	m ³ /h	489888.18	489745.58	316554.74	461996.94	55006.48	47519.41	60348.30	61299.94	
Flujo Volumétrico (2)	m ³ /h	276139.52	271083.27	192220.42	214610.29	39725.43	34374.75	45152.07	46960.71	
Velocidad de Gases	m/s	13.75	13.75	19.30	23.27	6.89	6.25	7.93	8.06	
Tiempo de Emisión	h/d	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	
Flujo Másico (1)	Kg/h	661349.05	661156.53	408355.61	595976.05	73158.62	62725.62	79659.76	80915.92	
Partículas (3)	mg/ m ³	19.22	103.11	3457.86	5373.74	98.93	68.12	86.04	30.31	250.00
Partículas (4)	mg/ m ³ N	33.45	183.14	7057.02	11835.06	127.80	92.54	108.50	39.36	
Monóxido de Carbono (3)	mg/ m ³	329.38	61.28	0.00	0.00	112.68	86.43	57.15	135.42	1150.00
Oxidos de Nitrógeno (3)	mg/ m ³	244.98	618.16	0.00	0.00	457.98	192.37	359.13	147.85	1800.00
Dióxido de Azufre (3)	mg/ m ³	565.35	542.00	0.00	0.00	138.61	97.62	105.57	73.40	2000.00
Oxígeno	%	7.75	7.60	20.90	20.90	12.10	12.73	12.80	12.50	
Temperatura de Gases	°C	193.65	203.04	275.84	314.90	74.95	93.11	66.57	76.00	
Temperatura de Ambiente	°C	22.13	21.80	25.60	28.18	16.00	16.00	16.00	16.00	
Dióxido de Carbono	%	11.80	12.10	0.00	0.00	7.60	7.30	7.22	7.41	
Exceso de Aire	%	59.30	61.00	--	--	139.30	149.00	155.00	152.00	
Eficiencia de Combustión	%	89.30	89.10	--	--	94.60	93.20	95.00	94.50	
Altura de Chimenea	m	93.00	93.00	32.00	32.00	12.62	12.92	12.62	12.92	
Diámetro Equivalente	cm	3.55	3.55	2.65	2.65	1.68	1.64	1.68	1.64	
Tipo de Combustible		Carbón	Carbón	--	--	--	--	--	--	
Alimentación de crudo	Tn/hr	476.00	475.33	468.00	477.33	--	--	--	--	
Producción de clinker	Tn/hr	301.27	300.84	296.20	302.11	--	--	--	--	
Producción molino carbón P1	Tn/hr	--	--	--	--	24.00	--	19.67	--	
Producción molino carbón P2	Tn/hr	--	--	--	--	--	21.22	--	28.82	
Porcentaje de Azufre	%	0.70	0.70	--	--	0.70	0.70	0.70	0.70	
Límite Permisible (5)	mg/ m ³	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	
Flujo Emisión Max. (6)	Kg/h	108.08	108.24	88.48	105.82	11.60	10.56	12.86	13.75	
Flujo Actual Emisión (7)	Kg/h	8.31	44.64	1223.87	2274.61	4.59	2.88	4.43	1.67	

(1) Flujo en base seca @ Cond. Op. (2) Flujo Volumétrico en base seca @ C.N. (3) Concentración Promedio @ Cond. Op. (4) Concentración Promedio @ C. N. (5) Límites Máximos Permisibles según el DS N°003-2002-PRODUCE Normas del Export - Import Bank of USA General environmental guide lines. (6) Relación entre los LMP y los flujos volumétricos en base seca a condiciones de operación. (7) Relación entre las concentraciones medidas y los flujos volumétricos en base seca a condiciones de operación.

Cuadro N° 02 Resumen Total del Monitoreo de Material Particulado (Valores Promedio). Marzo 2004

Cuadro Resumen de Resultados de Partículas del Electrofiltro de Clinker

Concentración	Unidades	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Promedio	LMP	OBS
Conc. @ Cond. Operación	mg/dcm	240.0283	236.8810	238.7509	238.5534	250.0000	Normativa Perú
Conc. @ Cond. Estándar	mg/dscm	505.3222	507.1008	508.2424	506.8884		
Conc. @ Cond. Normales	mg/dncm	540.1663	542.0676	543.2879	541.8406	50.0000	Normativa España
Conc. Peso a Peso	kg/ton	0.7367	0.7339	0.7335	0.7347	0.0500	Normativa USA
Flujo de Partículas (kg/h)	kg/h	228.3881	227.5241	227.3870	227.7664		

Producción: 310 t/h de Clinker

Fecha: 26/03/04

- Resultados de acuerdo a Método EPA 5 (Promedio de tres corridas)
- (250 mg/m³), es el Limite Máximo Permisible según el DS N° 003-2002-PRODUCE del Ministerio de la Producción del 04/10/2002.
- (Kg/h), es el Flujo Másico de emisión de partículas por hora de operación del horno, bajo condiciones de operación actuales del sistema de enfriamiento de clinker.
- (Kg/ton), es la tasa de emisión de partículas por tonelada de clinker producido, durante el muestreo.
- Condiciones de Operación: @ Tprom= 340°C y Pprom= 750.11 mmhg
- Condiciones Estándar: @ 25°C y 1 atm.
- Condiciones Normales: @ 0°C y 1 atm.

ANEXO E

E. Datos de Producción de la Línea N° 2, de los años 2002 y 2003

PRODUCCION DE CLINKER - HORNO II

		2002												
PRODUCTO	Unid.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Clinker I (TM)	TM	135875	139704	63198	146950	70049	63953	290165	96253	0	150959	81283	164348	1402737,00
Horas Maquina	Hr	467:17:00	469:23:00	209:58:00	519:49:00	278:22:00	213:33:00	1283:16:00	508:26:00	0:00:00	521:00:00	328:42:00	611:13:00	5410:59:00
Clinker II	TM	0	0	142478	0	36228	68440	0	93285	145939	20811	0	0	507181,00
Horas Maquina	Hr	0:00:00	0:00:00	515:26:00	0:00:00	133:14:00	256:16:00	0:00:00	421:55:00	620:55:00	72:00:00	0:00:00	0:00:00	2019:46:00
TOTAL CLINKER	TM	135875	139704	205676	146950	106277	132393	290165	189538	145939	171770	81283	164348	1909918,00
TOTAL HORAS	Hr	467:17:00	469:23:00	725:24:00	519:49:00	411:36:00	469:49:00	1283:16:00	930:21:00	620:55:00	593:00:00	328:42:00	611:13:00	7430:45:00

PRODUCCION DE CLINKER - HORNO II

		2003												
PRODUCTO	Unid.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Clinker I (TM)	TM	181826	140042	0	139310	173169	153028	72729	142504	141217	162949	82743	9897	1399414,00
Horas Maquina	Hr	168:43:00	457:59:00	0:00:00	534:18:00	570:55:00	517:10:00	232:36:00	490:27:00	473:12:00	547:47:00	304:40:00	36:08:00	4333:55:00
Clinker II	TM	0	42371	112057	4050	0	0	147725	14431	0	0	46422	11599	378655,00
Horas Maquina	Hr	0:00:00	175:10:00	414:44:00	17:40:00	0:00:00	0:00:00	498:09:00	48:00:00	0:00:00	0:00:00	175:21:00	79:49:00	1408:53:00
TOTAL CLINKER	TM	181826	182413	112057	143360	173169	153028	220454	156935	141217	162949	129165	21496	1778069,00
TOTAL HORAS	Hr	168:43:00	633:09:00	414:44:00	551:58:00	570:55:00	517:10:00	730:45:00	538:27:00	473:12:00	547:47:00	480:01:00	115:57:00	5742:48:00

* El Horno I de la Línea 1 trabajo en los meses de octubre y noviembre de 2003, haciendo una producción de 144794 TM de clinker en 1004:03:00 horas, estos datos no se han incluido en la tabla adjunta.

ANEXO F

F. Misceláneos sobre Contaminación Ambiental por Partículas

F.1 Contaminación en Santiago de Chile

Santiago, la capital de Chile se encuentra a unos 520 metros de altitud, a orillas del río Mapocho y junto al cerro Santa Lucía, en el centro del país. Se sitúa en el valle Longitudinal, entre la cordillera de la Costa y los Andes. Esta ubicación convierte a la ciudad en una urbe carente de ventilación y los vientos tienen dificultad para ingresar desde la costa y, si lo hacen, chocan contra los faldeos cordilleranos, produciendo un bolsón de aire contaminado.

Santiago, es la mayor ciudad de Chile y su más importante centro político, comercial, industrial, cultural y de comunicaciones. Entre sus principales actividades fabriles destacan el procesamiento de alimentos, la fabricación de telas y equipamiento ferroviario, la confección, la metalurgia y las industrias petroquímicas. La alta tasa de vehículos, tanto privados como de locomoción pública, y gran número de calles aún sin pavimentar en algunos sectores, hacen de Santiago una ciudad altamente contaminada.

En Chile existen cinco contaminantes atmosféricos normados: PM10 (material particulado menor a 10 μm), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono (O₃).

La fracción gruesa del material particulado, es decir, aquella parte del PM10 cuyo diámetro está comprendido entre 2,5 μm y 10 μm , en atmósferas urbanas como Santiago, está compuesta principalmente por polvo resuspendido, el cual es una mezcla de partículas de origen natural, con otras de origen antropogénico.

La fracción fina del material particulado, es decir, partículas de diámetro menor a 2,5 μm , se origina mayoritariamente por actividades antropogénicas, ya sea directamente por procesos de combustión (diesel, calderas y otros procesos industriales) o como resultado de reacciones de otros contaminantes gaseosos.

Tratando de buscar solución al problema de contaminación de Santiago, la Comisión Nacional para del Medio Ambiente (Conama) encargó (año 2000) un estudio técnico sobre la situación de la capital.

El estudio de la Conama arrojó los siguientes resultados:

En comparación con otras ciudades del mundo, el material particulado (PM) constituye el problema más grave en Santiago, tanto con relación al promedio de concentraciones de PM10 y PM2,5.

Aunque la situación de contaminación por PM ha mejorado considerablemente en el curso de los últimos diez años, las concentraciones siguen siendo demasiado altas.

La composición química de las partículas atmosféricas es una buena indicación de las fuentes responsables. Los agentes contribuyentes (por masa) son:

Al PM10:

- cerca del 50%: partículas de "tierra", representadas por partículas levantadas en caminos principalmente.
- cerca del 25%: partículas de combustión generadas por vehículos.
- cerca del 10%: partículas generadas por la industria.
- cerca del 15%: partículas posiblemente generadas por las fundiciones de cobre emplazadas fuera de Santiago u otras fuentes.

Al PM2,5:

- cerca del 50%: partículas de combustión generadas por vehículos.
- cerca del 20%: partículas generadas por la industria.
- cerca del 25%: partículas de tierra generadas por resuspensión en caminos.
- cerca del 40%: partículas posiblemente generadas por fundiciones de cobre u otras fuentes.

En consecuencia, el tráfico vehicular es responsable de la mayor contribución, ya sea de polvo en resuspensión (la principal fuente de PM10) o de partículas de combustión (las principales contribuyentes al PM2,5).

Fuente: <http://www.negociosambientales.cl/documentos/contaminantes.htm>

F.2 La contaminación del aire conlleva riesgos cardiovasculares, según Asociación del Corazón (HealthDayNews/HispaniCare)

La American Heart Association (AHA) afirma que la contaminación del aire aumenta el riesgo de ataque cardíaco, apoplejía y otros problemas cardiovasculares. Estudios recientes establecieron claramente el riesgo, especialmente de las partículas pequeñas emitidas por fuentes como los motores diesel, las plantas de energía, y la actividad industrial, dice el documento emitido por el AHA.

Un estudio llevado a cabo por la American Cancer Society, reportaba una relación numérica entre el riesgo y la exposición, con el riesgo de muerte por evento cardiovascular aumentando en un 12 por ciento por cada aumento de 10 microgramos por metro cúbico de aire de contaminantes de partículas pequeñas.

La mayoría de muertes causadas por la contaminación del aire se debe a ataques al corazón y otros eventos que causan bloqueos en las arterias, pero muertes por otras causas tales como fallos cardíacos y anomalías de ritmo cardíaco también aumentan a medida que aumentan los niveles de contaminantes, dijo el Dr. Robert D. Brook profesor de medicina en la Universidad de Michigan.

"La exposición prolongada a niveles elevados de contaminación por partículas es un factor que reduce la expectativa de vida general en varios años", afirmó la declaración de la asociación AHA. "La exposición a corto plazo a niveles elevados de contaminación de partículas está vinculada con un riesgo aumentado de muerte debido a eventos cardiovasculares".

La contaminación del aire no representa un riesgo tan alto como otros factores establecidos, tales como la presión sanguínea o el colesterol altos, afirma Brook, pero los proveedores de atención de la salud y el público general debe comenzar a prestarle atención.

Fuente: Artículo publicado el martes 1º de junio de 2004 en el Diario HealthDay , editado por el reportero Ed Edelson.

F.3 El Informe del Estado del Aire 2004 de la Sociedad Americana del Pulmón

De acuerdo al Informe del Estado del Aire 2004 de la Asociación Americana del Pulmón, publicado el 29 de abril de 2004; altos niveles de partículas microscópicas, parecidas al hollín, están incrementando el riesgo de muerte prematura para millones de personas, incluyendo aquellas con enfermedades del corazón y los pulmones. El informe analiza la contaminación por partículas y proporciona información sobre los niveles de contaminación por ozono de cada uno de los condados.

La Asociación Americana del Pulmón, en su Informe del Estado del Aire anual, utilizó datos de una nueva red nacional de vigilancia sobre la calidad del aire para incluir la contaminación de partículas en su informe. Producidas por emisiones de plantas eléctricas, escapes de diesel y quema de madera, entre otras fuentes, las partículas pueden ser peligrosas cuando alcanzan niveles no saludables en periodos de unas cuantas horas o pocos días, así como por la constante exposición diaria durante un periodo de tiempo largo. Los efectos complejos y peligrosos para la salud causados por las partículas fueron confirmados en un estudio del Consejo Nacional de Investigaciones publicado en marzo del 2004.

Norman H. Edelman, MD, un consultante para asuntos científicos de la Asociación Americana del Pulmón, explica las implicaciones en la salud pública de la contaminación por partículas: "Lo peligroso de estas finas partículas es que son tan pequeñas que pueden penetrar los sistemas naturales de defensa del cuerpo, lo que significa que cuando estas partículas son inhaladas, ellas se incrustan en lo más profundo de los pulmones. Algunas pueden incluso pasar a través de los pulmones a la sangre. Las partículas penetran al cuerpo a través de un mecanismo complicado que aún se está tratando de descifrar," expresó Edelman. "Estudios asocian la contaminación de partículas con el aumento en el riesgo de ataques de asma, paros cardiacos, derrames cerebrales, cáncer pulmonar y muerte prematura."

Personas con enfermedades cardiovasculares, niños y ancianos son los más vulnerables a los riesgos de salud asociados a la contaminación de partículas, al igual que los millares de personas que sufren de enfermedades crónicas en los pulmones, tales como asma y obstrucción crónica pulmonar.

Qué Pueden Hacer los Americanos

Para ayudar a los americanos a proteger su salud y reducir la contaminación del aire, la Asociación Americana del Pulmón está publicando una lista de "las 10 cosas más importantes" sobre "Lo que Tú Puedes Hacer Para Protegerte del Ozono y la Contaminación de Partículas," con guías específicas para ancianos y padres de niños pequeños. Esas acciones, simples y concretas, incluyen el evitar hacer ejercicio al aire libre en días con niveles altos de contaminación y no quemar madera o basura. La Asociación Americana del Pulmón también urge a tomar pasos para ayudar a limpiar el aire, incluyendo compartir los viajes en automóvil, , así como apoyar estrictos programas locales, estatales y nacionales de control de contaminación.

Por 100 años la Asociación Americana del Pulmón ha sido la organización líder en la prevención de enfermedades respiratorias y en promover la salud pulmonar. Los porcentajes de enfermedades pulmonares continúan aumentando mientras que otras importantes causas de muerte han disminuido. La Asociación Americana del Pulmón financia investigaciones vitales sobre las causas y tratamientos de las enfermedades pulmonares.

Fuente:

"Informe del Estado del Aire 2004 de la Asociación Americana del Pulmón" - www.lungusa.org

F.4 El Proyecto APHEIS

El programa APHEIS (Contaminación atmosférica y salud: Un sistema de información europeo) financiado por la Dirección General de protección de la salud y del consumidor de la Unión Europea (UE), publicó el 31 de octubre del 2003, (Saint Maurice, Francia) los resultados de la evaluación del impacto de la contaminación atmosférica por partículas sobre la salud realizado en 26 ciudades en 12 países europeos durante 2001.

El estudio APHEIS revela en particular que la contaminación atmosférica continua suponiendo una amenaza significativa para la salud pública en entornos urbanos en Europa, a pesar de una normativa más exigente y de la reducción de los niveles de algunos contaminantes atmosféricos.

De acuerdo con la Dra. Sylvia Medina, una de las dos personas coordinadoras del programa APHEIS, muestra que "incluso pequeñas y alcanzables reducciones de los niveles de contaminación atmosférica, como 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tienen un impacto beneficioso para la salud pública, y por tanto justifican las acciones preventivas en todas las ciudades, independientemente de sus niveles de contaminación atmosférica".

Como otro punto clave el informe APHEIS titulado "Una evaluación del impacto en la salud de la contaminación atmosférica en 26 ciudades europeas" establece que la principal causa del impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud es la exposición, sobre la que los individuos tienen poco control.

Este informe, una evaluación del impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud en una gran extensión europea, se basa en datos de 12 países y 26 ciudades: Atenas, Barcelona, Burdeos, Bucarest, Budapest, Celje, Cracovia, Dublín, Gothemburg, Le Havre, Lille, Ljubljana, Londres, Madrid, Marsella, París, Roma, Ruán, Sevilla, Estocolmo, Estrasburgo, Tel Aviv, Tolouse y Valencia.

El programa APHEIS tiene como objetivo proporcionar a los que han de tomar decisiones en Europa, a los profesionales de la salud ambiental, al público en general y a los medios de comunicación un fuente de información actualizada y fácil de utilizar para ayudarnos a tomar decisiones mejor documentadas sobre los aspectos relacionados con la contaminación atmosférica y la salud pública.

Próximamente, y para lograr estos objetivos, durante su tercer año APHEIS está investigando entre políticos y personas influyentes implicadas en la toma de decisiones relacionadas con el impacto de la contaminación atmosférica en la salud pública, para comprender mejor como el programa puede dar mejor respuesta a sus necesidades.

APHEIS calculará también los años de vida perdidos y la reducción de la esperanza de vida, para calcular el impacto a largo plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud.

En el futuro, APHEIS planea colaborar con economistas para calcular lo que cuesta a la sociedad los efectos sobre la salud de la contaminación atmosférica en las ciudades que participan en el programa.

El programa APHEIS está coordinado por el Instituto de Vigilancia Sanitaria en Saint-Maurice, Francia y por el Instituto Municipal de Salud Pública de Barcelona (IMSPB) en España.

Fuente: www.apheis.net