

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“INFLUENCIA DE LAS CARGAS CIRCULANTES DE LOS
HORNOS DE CEMENTO “**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

JORGE LUIS ROLDÁN AYALA

LIMA – PERÚ

2008

DEDICATORIA

A mi querida esposa Mary, a mis adorados hijos Jorge Camilo, Diana Romina, Luis Fernando y Jorge Luis por su constante apoyo y comprensión para ver realizado la culminación del presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

A Dios que siempre me acompaña en cada momento de mi existencia.

A mis padres Antonia y Erasmo por sus buenos consejos y apoyo constante.

A mi esposa e hijos por su cariño, comprensión y el tiempo que me permitieron dedicarlo a la culminación del presente trabajo.

A mi hermana Gladys por su incondicional apoyo.

A Cemento Andino S. A., por haberme dado la oportunidad de desarrollarme profesionalmente y en especial al Ing. Víctor Cisneros Mori por sus sabios consejos.

RESUMEN

El presente estudio, que se muestra en el capítulo IV y recoge los trabajos realizados en la fábrica de Cemento Andino S. A., para minimizar los efectos de las cargas circulantes (cloruros y sulfatos) en el intercambiador del Horno 2.

Se muestra una reseña cronológica de cómo se empezó a trabajar hasta las condiciones actuales. Inicialmente se colocaron ladrillos refractarios (Refratechnik), que luego se fueron reemplazando por castables con aislantes, castables sin aislantes, aislantes solos, ladrillos machimbrados (Repsa) y ladrillos machimbrados con columnas de castable al centro. Todos estos cambios se realizaron con el fin de evitar la caída de materiales refractarios que ocasionaban una parada del horno, debido al ataque de los cloruros y sulfatos a los anclajes metálicos.

Primeramente se detalla el proceso productivo de Cemento Andino S. A. en el punto 4.1, luego se presenta los conceptos teóricos referidos a las cargas circulantes de los cloruros y sulfatos en el punto 4.2, en el punto 4.3 se presenta los problemas suscitados en el Horno 2, desarrollándose el tema en el punto 4.4 con todos los cambios realizados en el intercambiador, para finalmente presentar en el capítulo VI las conclusiones y recomendaciones.

INDICE

I – INTRODUCCIÓN

- 1.1 La importancia de Cemento Andino para el país..... 1
- 1.2 Actividades profesionales que se desarrollan en Cemento Andino.... 3

II – EL ÓRGANO EMPRESARIAL

- 2.1 Datos principales..... 5
- 2.2 Ubicación..... 5
- 2.3 Estructura orgánica..... 7
- 2.4 Líneas de producción..... 8
 - 2.4.1 Diagramas del Molino Crudo 1 – Horno 2..... 10
 - 2.4.2 Diagramas del Molino Crudo 2 – Horno 3..... 11

III – RELACIÓN PROFESIONAL CON EL EMPLEADOR

- 3.1 Condición de la relación laboral..... 12
- 3.2 Documentos probatorios..... 12

IV – INFLUENCIA DE LAS CARGAS CIRCULANTES DE LOS HORNOS DE CEMENTO

- 4.1 Proceso de fabricación del cemento..... 14
 - 4.1.1 Extracción de materia prima..... 14
 - 4.1.2 Chancadora primaria y secundaria..... 15
 - 4.1.3 Molienda de crudo y Homogenización..... 16
 - 4.1.4 Horno: Intercambiador de calor, calcinador y combustión.... 17
 - 4.1.5 Enfriamiento, transporte y almacenamiento..... 19
 - 4.1.6 Molienda de cemento..... 21
 - 4.1.7 Despacho de cemento: En bolsa y granel..... 22
- 4.2 Conceptos teóricos..... 24
 - 4.2.1 Comportamiento del material volátil..... 24
 - 4.2.2 Mecanismo de circulación del material volátil..... 24
 - 4.2.2.1 Evaporación en el Horno..... 24
 - 4.2.2.2 Material volátil que sale del precalentador..... 25
 - 4.2.2.3 Condensación en el precalentador..... 25

4.4.2 Año 2000.....	48
4.4.3 Año 2001.....	49
4.4.4 Año 2002.....	52
4.4.5 Año 2003.....	59
4.4.6 Año 2004.....	65
4.4.7 Año 2005.....	71
4.4.8 Año 2006.....	75
V – DESARROLLO DE OTRAS ACTIVIDADES PROFESIONALES “FACTIBILIDAD DE REEMPLAZO DE LOS DOS VENTILADORES DEL RAMAL WT2 HORNO 3, POR UN SOLO VENTILADOR”.....	80
VI – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
VII – BIBLIOGRAFÍA.....	89
VIII – ANEXOS.....	90

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 LA IMPORTANCIA DE CEMENTO ANDINO PARA EL PAIS.

⁽¹⁾ Cemento Andino S. A. es una empresa peruana dedicada desde hace 50 años a la fabricación y venta de cemento en sus diferentes tipos I, II, V y IPM, aprovechando sus ricas canteras en los Andes Centrales del país. El estar en la cordillera de los andes a 3950 m.s.n.m. lo convierte en la fábrica de cemento a mayor altitud en el mundo.

Para satisfacer la creciente demanda de cemento en la Sierra central y el resto del país, la empresa ha venido incrementando paulatinamente su capacidad instalada, de la mano con el avance de la tecnología para cada etapa de ampliación de planta.

Para contribuir con el desarrollo de nuestro país, se muestran algunas obras realizadas con Cemento Andino:

Foto N° 1: Presa de relaves de Antamina



- Planta Concentradora y Presa de Relaves en Antamina
- Presa de Relaves para Minera Yanacocha
- Planta Concentradora y presa de relaves para Minera Pierina
- Proyecto Majes
- Planta Térmica de Sider Perú
- Planta Térmica de Ventanilla
- Ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua en la Atarjea
- Fabricación de tubos para agua y desagüe, postes de alumbrado
- Obras portuarias en el Callao
- Perforación de pozos petroleros por OXY Petroperú
- Planta Industrial de Leche “Bella Holandesa”
- Planta de lixiviación para Southern Perú
- Poza de Oxidación de San Bartolo y San Juan
- Central Hidroeléctrica del Mantaro.
- Centro comercial Jockey Plaza.

Aportando un cemento de bajo contenido de álcalis y de alta resistencia al ataque químico.

Cemento Andino para estar al nivel de las grandes empresas del mundo, cuenta con 2 certificaciones internacionales:

- 1) Para asegurar la calidad del cemento que se elabora en fábrica, se tiene la Certificación de Gestión de Calidad ISO 9001: 2000, obtenida el 19 de Febrero del 2004 y Recertificada el 30 de Mayo del 2007.
- 2) Para trabajar en armonía con el medio ambiente, se cuenta con la Certificación de Gestión Ambiental ISO 14001: 2004, obtenida el 03 de Noviembre del 2006.

También ya se avanzó en la Auditoría de Primera fase para la Certificación de Sistema de Seguridad y Salud ocupacional OSHA 18001:2007.

1.2 ACTIVIDADES PROFESIONALES QUE SE DESARROLLAN EN CEMENTO ANDINO.

(1) La fábrica se ha modernizando progresivamente desde que inició sus operaciones en 1958 con un proceso de vía húmeda y una capacidad de 90 000 TM anuales, hasta llegar a procesos en vía seca con intercambiadores de calor y con calcinador en línea con el horno (ILC) ó con calcinador separado del Horno (SLC) y una capacidad instalada de 1 150 000 TM anuales de cemento.



Foto N° 2: Fábrica de Cemento Andino.

Debido a que las condiciones no han sido muy favorable por la ubicación de la planta a 3950 msnm, en donde el agua hierve a 87 °C en vez de 100 °C y a la presión barométrica de 62.4 kPa. en vez de 101.3 kPa., Cemento Andino ha dado la oportunidad de desarrollarse a toda la gama de profesionales como Ingenieros químicos, mecánicos, eléctricos, electrónicos, civiles, geólogos, mineros, sanitarios, ambientales, industriales; contadores y administradores.

La fábrica cuenta con 235 trabajadores, distribuidos en:

Funcionarios	38
Empleados	45
Obreros	152



Foto N° 3: Planta de carbón.

Cemento andino tiene autonomía en el abastecimiento de combustible, porque siendo el combustible principal el carbón y contar con su propia planta de molienda de carbón, se puede hacer las combinaciones de carbones nacionales e importado, reduciendo su granulometría a los valores deseados para los diferentes niveles de aplicación; además, tiene autonomía en electricidad, ya que cuenta con su propia central hidroeléctrica de Carpapata y es socio en el Proyecto energético del Platanal.

CAPÍTULO II

EL ÓRGANO EMPRESARIAL

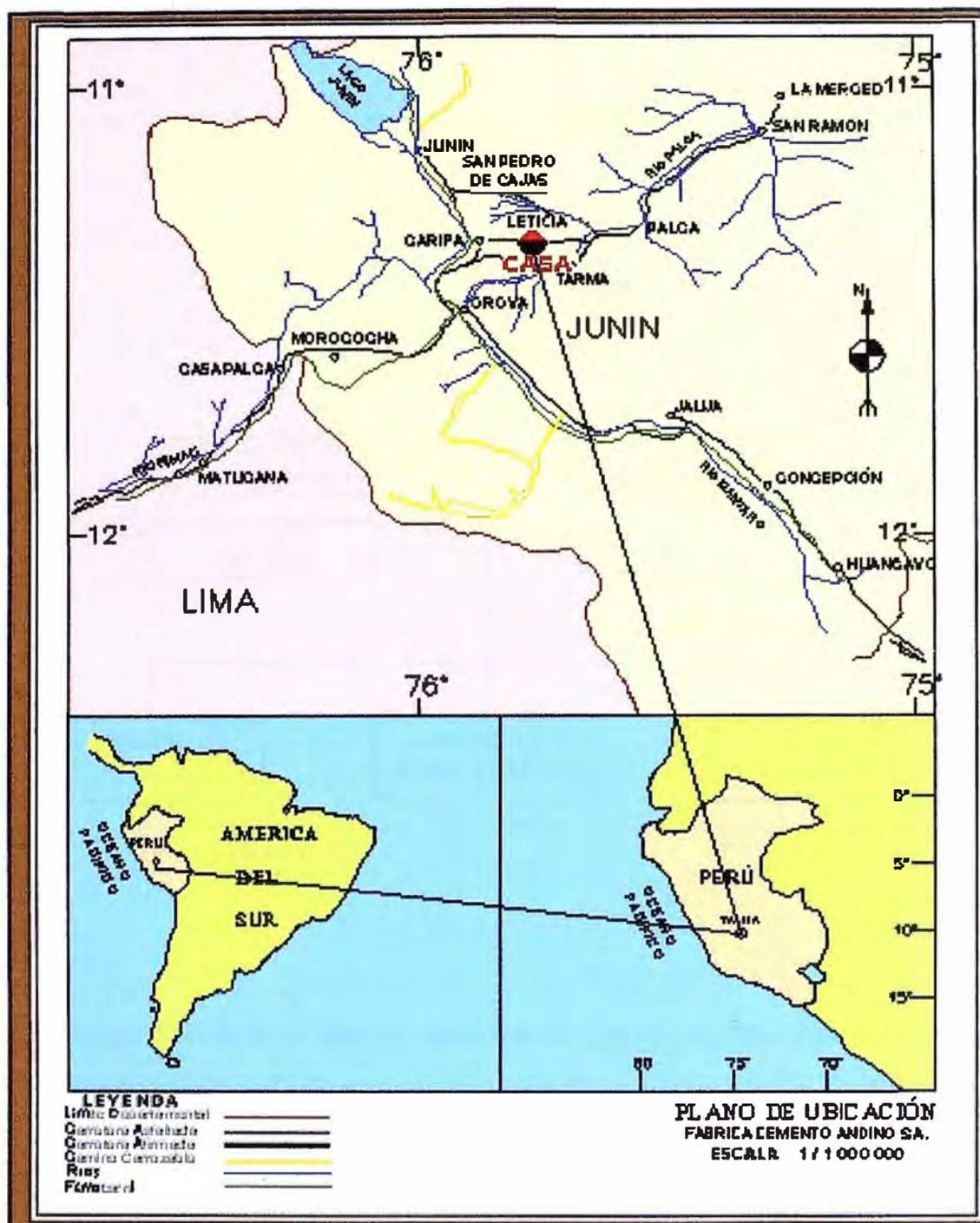
2.1 DATOS PRINCIPALES:

Empresa	Cemento Andino
Razón Social	Sociedad Anónima
Dirección	Carlos Villarán 508, Urb. Sta. Catalina - La Victoria, Lima. Fábrica (Condorcocha s/n, La Unión-Leticia, Tarma, Junín)
Teléfonos	411-0000

2.2 UBICACIÓN:

La fábrica de Cemento Andino está ubicada en la Sierra Central del Perú, Condorcocha, La Unión - Leticia, provincia de Tarma, Departamento de Junín, a 3,950 metros sobre el nivel del mar y a 220 km. al este de la ciudad de Lima.

Se puede llegar utilizando la vía asfaltada de la carretera central hasta la Oroya, y en el camino hacia Tarma se toma el desvío de Caripa por una vía no asfaltada de 10 km. para llegar a la fábrica.

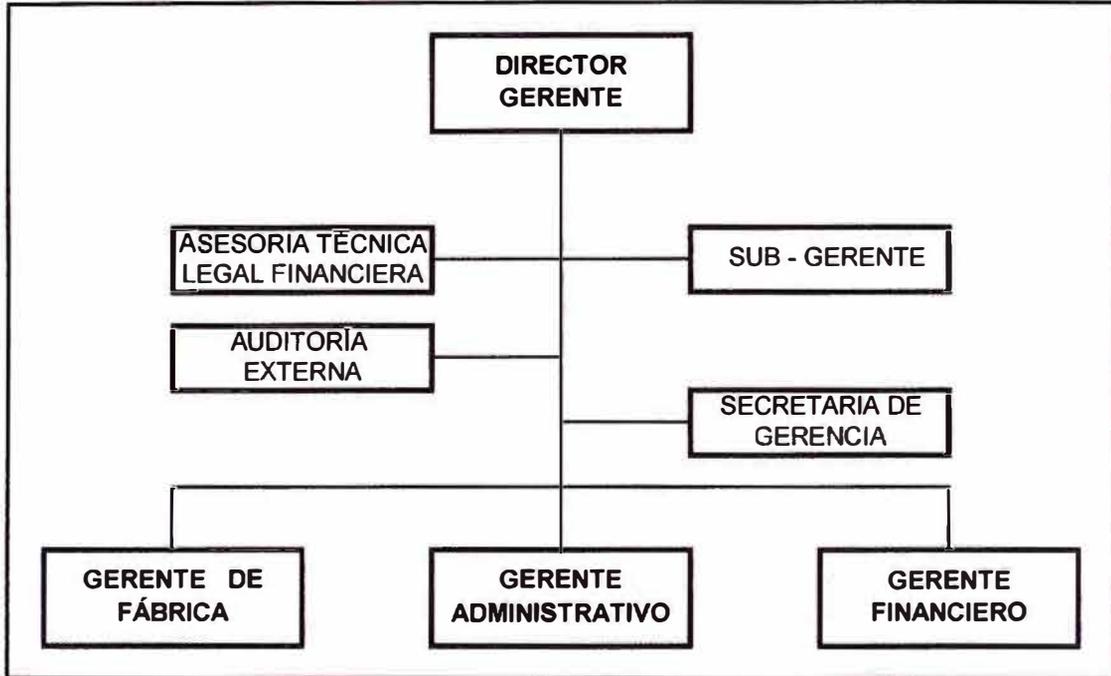


Plano N° 1:

Ubicación de la Fábrica de Cemento Andino S. A.

2.3 ESTRUCTURA ORGÁNICA

ORGANIGRAMA GENERAL



El Director gerente es la máxima autoridad en Cemento andino y es la persona que lleva todas las inquietudes a las reuniones de directorio con los dueños de la empresa.

El Gerente de fábrica es la máxima autoridad en la planta y reporta todo lo acontecido al director gerente.

Las interrelaciones, funciones y responsabilidades de cada componente de la organización, se dan en las Normas de Organización y Funciones del Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001-2000 que se Certificó y estableció 19 de Febrero del año 2004.

2.4 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Cemento Andino S.A. es una empresa dedicada a la fabricación y venta de clinker y cemento de la más alta calidad.

La planta empezó su funcionamiento en 1958 con el Horno 1 (MIAG), de vía húmeda y una capacidad instalada de 90 000 TM anuales. Luego se realizó la primera ampliación y modernización con el montaje y puesta en marcha del horno 2 (KHD) de 400 TPD; proceso seco con intercambiador de calor que comenzó a operar en 1963, elevando la capacidad de cemento a 230 000 TM anuales. Posteriormente, se ejecutó la segunda ampliación que entró en operación en 1969, con montaje y puesta en marcha del horno 3 (KHD) de 750 TPD; proceso seco con intercambiador de calor, elevando la capacidad instalada a 490 000 TM anuales. En 1988 se puso en marcha el Proyecto de Reparación, Modernización y Ampliación del Horno 3 de 1900 TPD, con lo cual la planta alcanzó una capacidad nominal de 750 000 TM anual de cemento.

A finales de 1999, se puso en marcha el Proyecto de Modernización y Ampliación del Horno 2 de 1400 TPD, incluyendo la instalación de la Trituradora primaria y la unidad de molienda de cemento N° 5 con Prensa de Rodillos y Separador de alta eficiencia, con lo que la planta alcanzó una capacidad nominal anual de 1'150,000 TM de cemento. Siendo el 2006, el año en que se logró históricamente la mejor producción de clinker (1'076,445 TM) y de cemento (1'119,537 TM)

Dentro del proceso productivo, se tiene dos líneas de producción para la elaboración de clinker, que es el componente principal del cemento:

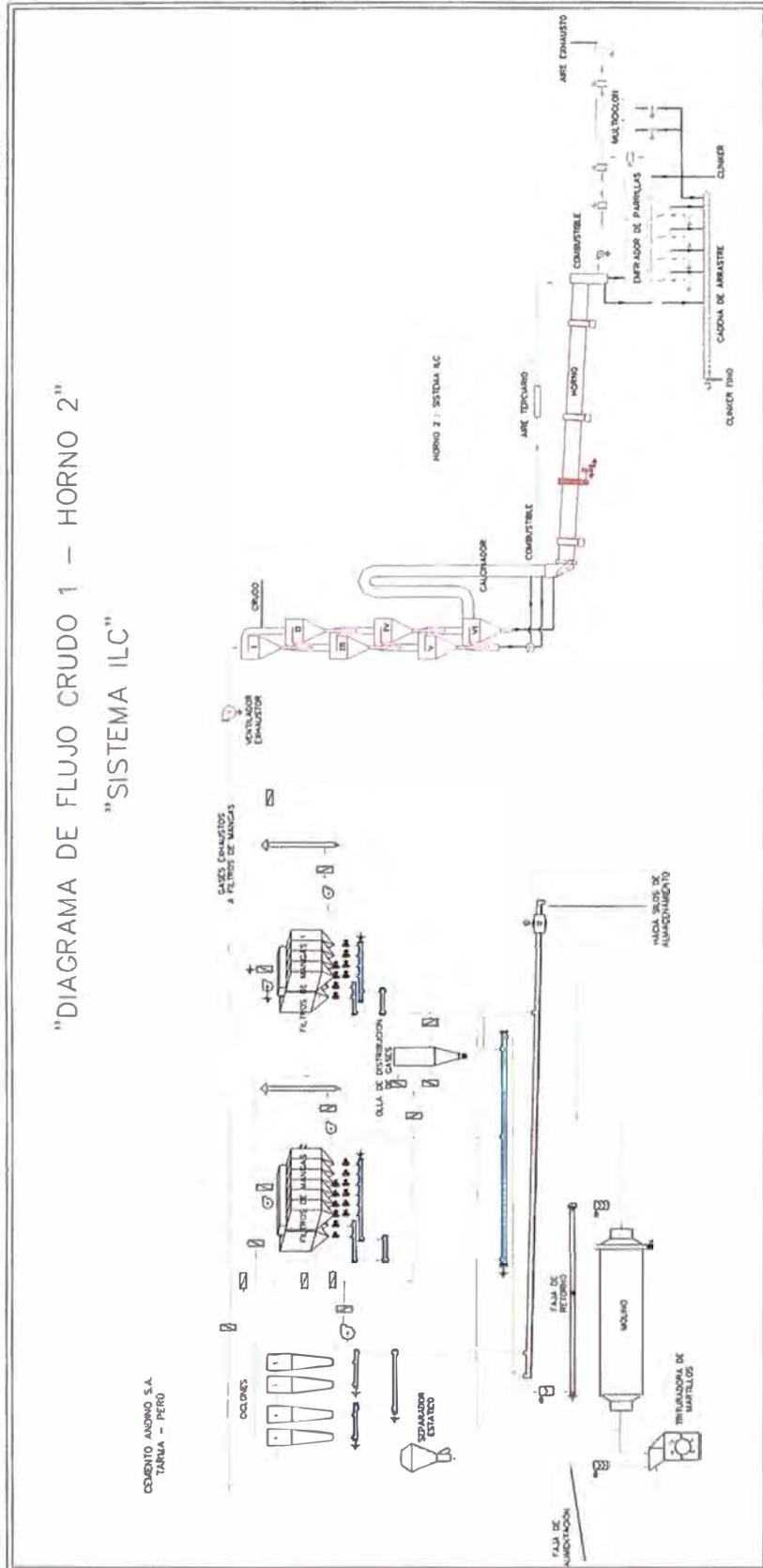
Crudo 1 – Horno 2 con una capacidad instalada de 1500 TPD de clinker y
Crudo 2 – Horno 3 con una capacidad instalada de 2000 TPD de clinker.



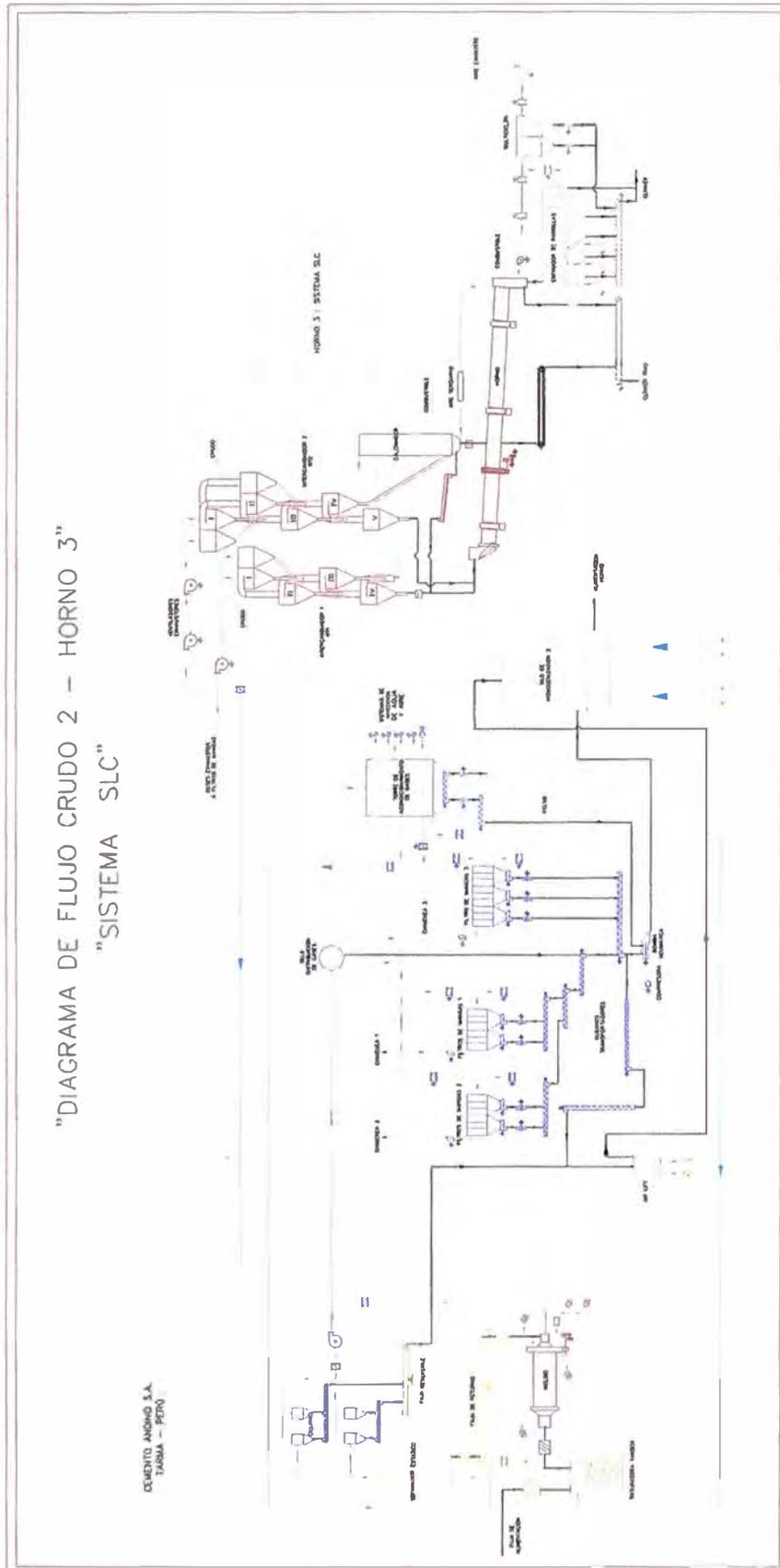
Foto N° 1:

Líneas de Producción del Horno 2 y horno 3.

2.4.1 Diagrama del Molino Crudo 1 – Horno 2



2.4.2 Diagrama del Molino Crudo 2 – Horno 3



CAPÍTULO III

RELACIÓN PROFESIONAL CON EL EMPLEADOR

3.1 CONDICIÓN DE LA RELACIÓN LABORAL

La relación laboral que se tiene con Cemento Andino data desde el 01/01/1985

Molinos de cemento

Cargo	Jefe de Molino de cemento y Embolsadura
Rango	Funcionario
Período	1985 – 1990

Molinos de crudo

Cargo	Jefe de Molino de crudo
Rango	Funcionario
Período	1991 – 1995
Trabajo	Participación en la ejecución del Proyecto de Reparación, Modernización y Ampliación del Horno N° 3 y Molino de crudo N° 2

Hornos

Cargo	Jefe de Hornos
Rango	Funcionario
Período	1996 – 2007
Trabajo	Participación en la ejecución del Proyecto de Modernización y Ampliación del Horno N° 2 y Molino de crudo N° 1

3.2 DOCUMENTOS PROBATORIOS

Carta de presentación

CAPITULO IV

“INFLUENCIA DE LAS CARGAS CIRCULANTES DE LOS HORNOS DE CEMENTO”

4.1 PROCESO DE FABRICACION DEL CEMENTO

Durante todo el proceso de fabricación se toman muestras del material con una frecuencia establecida, desde las canteras hasta el cemento despachado, luego son sometidos a ensayos físicos y químicos para hacer los ajustes necesarios y encontrar un producto de excelente calidad.

En la fabricación del cemento se siguen los siguientes procesos:

4.1.1 Extracción de Materia Prima

El proceso de fabricación comienza con la explotación y extracción de las materias primas a utilizar, las cuales se efectúan normalmente a tajo abierto.

La Empresa cuenta con canteras propias de donde extrae todas sus materias primas, dadas las necesidades planteadas para producir un clínker de mejor calidad, para obtener la harina cruda el proceso exige el uso de calizas a razón de 90% en peso, arcilla a razón de 6% en peso y óxido de fierro 4 % en peso y para la producción final del cemento se usa 96% en peso de clínker y 4% en peso de yeso natural; también se cuenta con 2 canteras de puzolana, una en Ayacucho y otra en Cerro de Pasco.

Asimismo, la Empresa compra a terceros arcilla y óxido de fierro como apoyo al desarrollo de pequeños mineros. Actualmente, se tiene el soporte del Software Minero Datamine, el cual ayuda en el Planeamiento de las actividades de explotación y selección de la zona de acuerdo a las especificaciones que se requieran (Concentración del CaCO_3).

Para el caso de la materia prima principal como la caliza se tienen reservas probadas a Enero del 2005 que ascienden a 100'000,000 TM y las probables a 150'000,000 TM.

4.1.2 Chancadora Primaria y Secundaria

La caliza extraída es cargada mediante palas a camiones de gran capacidad, previo diseño de mezclas y de acuerdo a las especificaciones químicas requeridas; luego el material es transportado a la chancadora primaria (Chancadora Cónica) que tiene una capacidad de 1000 TM/h, en donde se reduce el tamaño desde un 1 m. hasta 12 cm. Posteriormente el material es transportado mediante fajas a la zona de almacenamiento (Stock Pile) con capacidad de 80,000 TM.

De acuerdo a las necesidades de producción el material almacenado, es transportado mediante un sistema de fajas a la Chancadora Secundaria (de 450 TM/h) reduciendo el tamaño hasta 3 cm. de diámetro, que mediante otro sistema de fajas es llevado hacia las canchas de alimentación y/o reserva de 30,000 TM de capacidad. Por esta Chancadora se trituran también la caliza, óxido de fierro y arcilla.

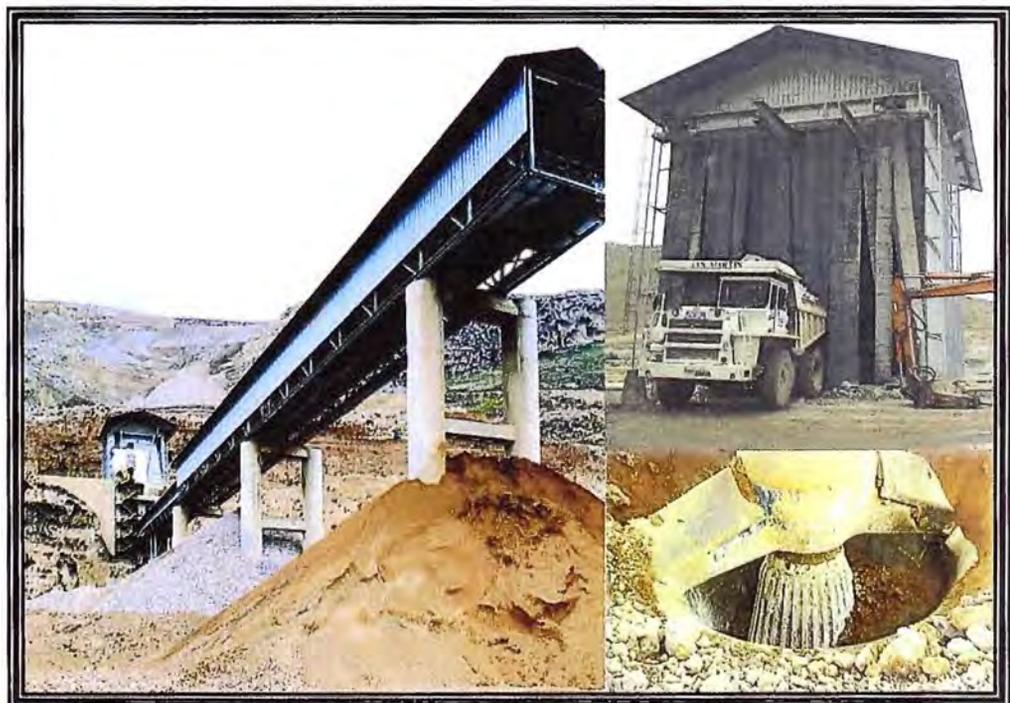


Foto N° 1: Chancadora primaria

4.1.3 Molienda de Crudo y Homogenización

En la zona de Alimentación, se cuenta con cuatro balanzas de alimentación: Caliza Alta, Caliza Baja, Óxido de Fierro y Arcilla (Tabla N° 1 y N° 2 del Anexo), cuya dosificación es controlada desde la sala de Rayos X mediante un programa QCS, para ser transportadas mediante una faja hacia la Chancadora de martillos (Chancadora Tandem) en donde el material es pre-secado y triturado, luego mediante succión del sistema es llevado al separador estático en donde, las partículas gruesas regresan al molino de bolas para completar su molienda y juntarse con el material que sale de la chancadora Tandem, para cerrar el circuito descrito anteriormente. Los finos que salen del separador estático, son recuperadas primero en los ciclones y luego en los filtros de mangas, para ser transportado a los silos de homogenización, en donde se uniformiza el material tanto en finura como en composición química.

Las capacidades nominales de los molinos de crudo son 115 TM/h para el molino 1 y 160 TM/h para el molino 2.

Las capacidades de los silos de almacenamiento para el crudo 1 son de 6000 TM que incluyen los 6 silos de almacenamiento y los 2 de homogenización.



Foto N° 2: Molino de crudo

La capacidad de almacenamiento de harina cruda en el silo de homogenización 3 para el crudo 2 es de 9000 TM.

4.1.4 Horno: Intercambiador de calor, Calcinación y Combustión.

De los silos de Homogenización, la Harina Cruda (Tabla N° 5 del Anexo) es llevada a las balanzas de alimentación para ser transportadas hacia la salida del segundo ciclón del Intercambiador de calor, que al entrar en contacto con los gases calientes eleva su temperatura hasta 700 °C; luego pasa al calcinador, donde se produce la descarbonatación por acción del combustible alimentado y el aire terciario que elevan la temperatura hasta 900 °C.

Dentro del horno las temperaturas van desde 1000 °C (cámara de enlace) hasta 1450 °C que es la temperatura de reacción y formación en fase líquida de los compuestos del clínker. A la salida del horno la temperatura se encuentra alrededor de 1250 °C, descargándose el clínker al enfriador.

El combustible principal utilizado es el carbón pulverizado (Tabla N° 3 y N° 4 del Anexo), que se alimenta por el cabezal del horno (40%) y por el calcinador (60 %). Eventualmente, sólo para caso de calentamiento del horno se usa petróleo residual N° 6.

Si bien el proceso general es similar, se presentan algunas diferencias entre ambas líneas de producción que se muestran a continuación:

Para el caso del horno 2: Sistema ILC (In Line Calciner)

Está constituido por:

- Una torre de 6 etapas, descargando al horno por el ciclón 6.
- Un Calcinador en línea con el Horno.
- Un ducto de aire terciario con compuerta de regulación.
- Un enfriador de parrilla con trituradora de rodillos.
- Analizador de gases en la cámara de enlace y salida del intercambiador.
- Exhaustor de velocidad variable.
- Filtros de mangas de aire reverso.

Especificaciones:

1. Fabricante:

Año (KHD): 1963

Año modificación: 1999

2. Capacidad:

Producción actual: 1450 TPD

3. Geometría:

Longitud: 50.0 m

Diámetro: 3.6 m

4. Características

Tipo: ILC

Velocidad: 4.0 RPM

Consumo calorífico: 830 kcal / kg

Consumo de energía: 63 kwh / TM

Carga térmica del horno: 2.7×10^6 kcal / m²h

Distribución del combustible

Horno: 40 %

Calcinador: 60 %

Para el caso del horno 3: Sistema SLC (Separated Line Calciner)

Está constituido por dos intercambiadores de calor:

- El ramal 1 con 4 etapas trabajando en línea con los gases del horno. Tiene un exhaustor de velocidad fija, con compuerta de regulación
- El ramal 2 con 5 etapas y un calcinador trabajando separado del horno que recibe el crudo calentado de los ciclones número 4 de ambos ramales, para descargar al horno a través del ciclón 5. Tiene 2 exhaustores de velocidad fija, con compuerta de regulación.
- Un ducto de aire terciario.
- Un recuperador de calor de parrilla con trituradora de rodillos.
- Un enfriador tipo G-cooler para bajar la temperatura del clínker.
- Analizador de gases en la cámara de enlace y salida de los dos intercambiadores.

- Filtros de mangas del tipo jet pulse.

Especificaciones:

1. Fabricante:

Año (Humboldt KHD):	1969
Año ampliación:	1988
Año modificación a SLC:	1992

2. Capacidad:

Producción actual:	1950 TPD
--------------------	----------

3. Geometría:

Longitud:	52 m
Diámetro:	4 m

4. Características

Tipo:	SLC
Velocidad:	3.4RPM
Consumo calorífico:	930 kcal / kg
Consumo de energía:	66 kwh / TM
Carga térmica del horno:	3.29×10^6 kcal / m ² h
Distribución del combustible:	
Horno	40 %
Calcinador	60 %

4.1.5 Enfriamiento, Transporte y Almacenamiento

El clínker que sale del horno es sometido a un proceso de enfriamiento rápido, mediante un enfriador de parrillas y aire insuflado por ventiladores.

Posteriormente el clínker es llevado mediante transporte de baldes al G-cooler (para el caso del Horno 3) en donde el clínker es sometido a un segundo enfriamiento, para finalmente mediante transporte de baldes ser llevados a la cancha de almacenamiento de clínker (Del horno 2 ó 3) en donde queda listo para ser utilizado en la siguiente etapa.

Las características para las diferentes líneas de producción se muestran a continuación:

Enfriador de parrilla Horno 2

Fabricante:	BMH Américas
Año:	1997
Capacidad:	1500 TPD

Enfriador recuperador Horno 3

Fabricante:	CPAG
Año:	1987
Capacidad:	2100 TPD

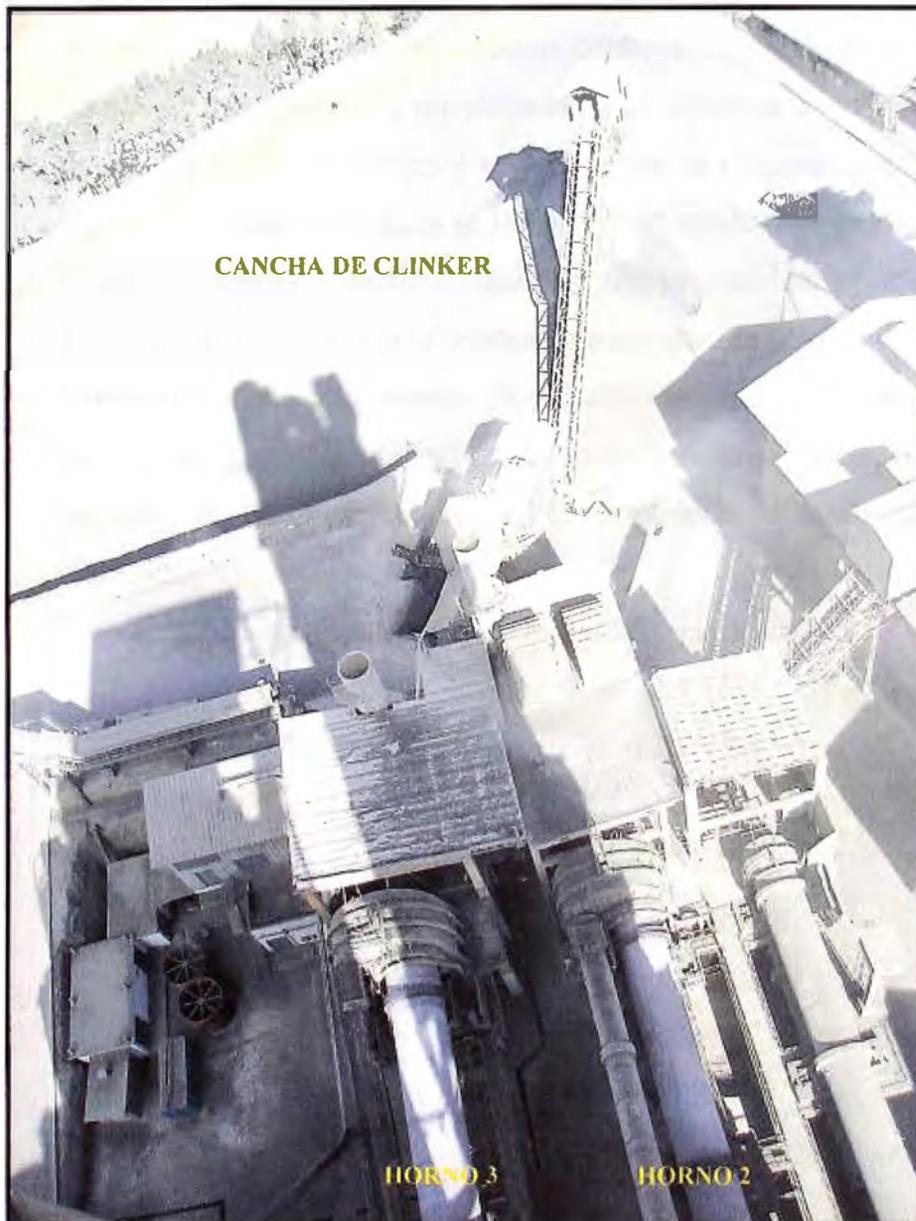


Foto N° 3: Sistemas de Hornos

4.1.6 Molienda del Cemento.

El clínker depositado en la cancha, es llevado mediante un sistema transporte de baldes y fajas a la prensa KHD en donde se fractura el clínker, logrando incrementar la producción de los 4 Molinos de bolas. Posteriormente se transporta el material a las tolvas de alimentación.

El yeso así como la puzolana, previamente pasan por una Chancadora de martillos y posteriormente mediante fajas es transportado a sus respectivas tolvas de alimentación.

Desde las tolvas de clínker, yeso y puzolana los materiales se dosifican a los molinos de bolas en proporciones controladas por medio de balanzas. Luego es transportado a un elevador, que alimenta a un separador en donde los gruesos retornan y se juntan con la alimentación fresca que ingresa al molino. Los finos se juntan con el producto recuperado de los filtros de mangas y mediante una faja son transportados hacia los silos de cemento. Este sistema se conoce como molienda en circuito cerrado.

También se tiene otro sistema de circuito cerrado, con la particularidad que en lugar de un molino de bolas se usa una prensa de rodillos, seguido de un desaglomerador. El separador utilizado es de alta eficiencia.

Las capacidades nominales de los molinos de cemento son:

Molino de cemento 1:	12.5 TPH
Molino de cemento 2:	12.5 TPH
Molino de cemento 3:	25.0 TPH
Molino de cemento 4:	55.0 TPH
Molino de cemento 5:	58.0 TPH
Molino de cemento 6:	60.0 TPH

El Molino de cemento N° 6 entrará en operación en Mayo 2008 y en molienda combinada con el cemento 5 producirá 120 TPH.

Se cuenta con 6 silos de cemento y que cada uno de ellos tiene una capacidad de 2000 TM, que en total hacen una capacidad 12000 TM de cemento. Asimismo, un silo metálico de 685 TM.

4.1.7 Despacho de cemento: En bolsa y granel.

Para el despacho, el cemento de los silos es transportado a un silo de acero que alimenta a la máquina ensacadora en donde se colocan las bolsas para ser llenadas con cemento (42.50 kg/bolsa). Para la atención de cemento embolsado contamos con 2 máquinas, la maquina ensacadora 2 (F. L. Smidth de 12 pitones) de 1900 sacos/h y la máquina ensacadora 3 (Haver & Boecker de 6 pitones) de 2100 sacos/h; luego son llevados mediante fajas hasta la plataforma de camiones o vagones del ferrocarril, para ser apiladas adecuadamente. Para el caso del despacho a granel se programa desde un tablero de control y se descarga la cantidad de cemento solicitado.

Actualmente, se esta trabajando en la nueva ensacadora N° 4 de alimentación automática (Haver & Boecker de 6 pitones) de 3000 sacos/h, que entrará en operación en Junio 2008.

Para el control de pesos se cuenta con dos balanzas de camiones y una de ferrocarril donde se verifica que el peso total de bolsas de cemento o de despacho a granel esté dentro de los límites permitidos.

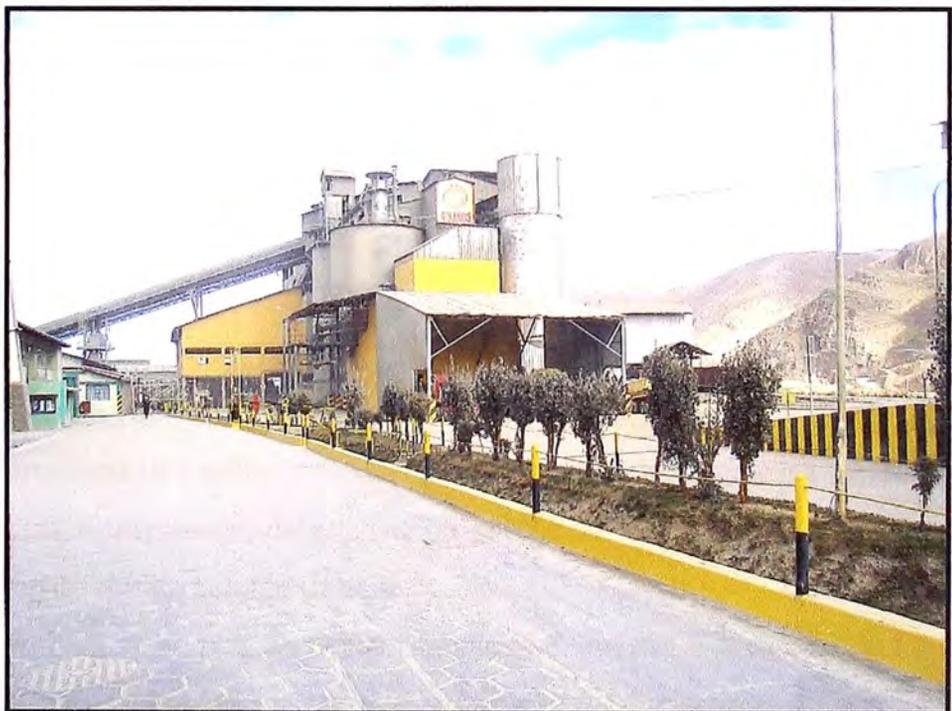


Foto N° 4: Despacho de cemento

Tipos de cemento

En la fábrica de Cemento Andino, se elaboran los siguientes tipos de cemento:

Cemento Portland Tipo I

Para usos en obras de construcción civil en general, en las que no se requieren propiedades especiales.

Se recomienda para estructuras de edificios, estructuras industriales, puentes, conjuntos habitacionales, y todas aquellas obras que se construyan sobre terrenos con contenido menor de 150 ppm de sulfato soluble en agua.

Cemento Portland Tipo II

Para uso general y especialmente cuando se desea una moderada resistencia a la acción de los sulfatos y/o cuando se requiera moderado calor de hidratación.

Se recomienda para estructuras industriales, puentes, obras portuarias, fabricación de tubos de concreto, alcantarillado, perforaciones y todas aquellas obras sometidas a exposición moderada con contenidos entre 150 – 1,500 ppm de sulfato soluble en agua.

Cemento Portland Tipo V

Producto de alta resistencia a los sulfatos. Se recomienda para estructuras de canales, alcantarillado, en contacto con suelos ácidos y/o aguas subterráneas, de exposición severa del orden de 1,500 – 10,000 ppm de sulfato soluble en agua.

También se emplea en obras portuarias expuestas a la acción de aguas marinas, sobre suelos salinos y húmedos, en piscinas y acueductos, canales y edificios que deberán soportar ciertos ataques químicos.

Cemento Portland tipo IPM (Puzolánico Modificado)

Para uso en construcciones generales de concreto y concreto armado, especialmente cuando se desea moderado calor de hidratación y/o moderada resistencia química a los sulfatos y aguas carbonatadas.

Se recomienda para presas de concreto, obras portuarias, cimentaciones masivas y muros de contención en medios agresivos, canales de conducción, obras de desagüe portadoras de aguas ligeramente ácidas.

4.2 CONCEPTOS TEÓRICOS ⁽²⁾

4.2.1 Comportamiento del material volátil

Los componentes menores que se introducen en el sistema del horno con las materias primas y el combustible, pueden dar lugar a dificultades en la operación del horno, si estos representan altas concentraciones en el sistema. Los componentes menores que usualmente se toman en consideración son el potasio, sodio, azufre y cloro.

La concentración de estos componentes aumenta en el sistema del horno debido a la circulación interna y externa, pues los componentes se evaporan a la temperatura de la zona de cocción, se condensan cuando se enfrían en la parte posterior del horno y son traídos de vuelta a la zona de cocción con el material. En muchas de las plantas antiguas se desconocen estos problemas, porque el sistema del horno permite que los componentes evaporados se escapen a través de la chimenea; sin embargo en instalaciones más modernas con precalentadores y filtros eficientes, pueden llegar a ser un problema.

4.2.2 Mecanismo de circulación del material volátil

4.2.2.1 Evaporación en el horno

El material volátil al acercarse a la zona de cocción del horno, se evapora una fracción, dependiendo del grado de volatilidad de cada componente y se transportará de vuelta junto con los gases de combustión a las zonas más frías del sistema del horno. Aquí

los componentes se condensarán bien sea en las superficies vecinas relativamente más frías, o en la harina cruda y volverá a ingresar a la zona de cocción del horno con la harina cruda, donde una fracción se vuelve a evaporar. Este fenómeno repetido de evaporación y condensación genera una **circulación interna** en donde la concentración de algunos componentes puede aumentarse en el material del horno hasta en cincuenta veces la concentración de entrada.

Cuando la concentración del material volátil en el sistema del horno se vuelve demasiado alta, se presenta encostramientos en la zona de los últimos ciclones, la cámara de enlace y formación de anillos en el horno que hacen más difícil la operación del horno.

4.2.2.2 Material volátil que sale del precalentador

La pequeña parte del material volátil que se escapa del precalentador del horno con el polvo en los gases de combustión, se precipita en los filtros y regresa con la alimentación al horno. Esta circulación del material volátil del sistema del horno al filtro y nuevamente de regreso al horno, se denomina **circulación externa**.

4.2.2.3 Condensación en el precalentador

La condensación del vapor de la materia volátil en la zona más fría, se produce con las partículas de harina cruda y en las paredes circundantes. Los productos de la condensación son productos de bajo punto de fusión y con la harina cruda forma las costras que reduce el área de flujo de los gases y atoro en los ciclones cuando se sueltan pedazos de estas costras.

Estrictamente hablando, el gas de SO_2 se libera en el horno y pasa hacia arriba por el precalentador y no se condensa, se combina con la harina cruda calcinada en las etapas inferiores de los ciclones, en donde el CaO esta disponible como:



4.2.3 Afinidad entre los componentes volátiles

La volatilidad de los diferentes compuestos varía considerablemente y con ella la volatilidad de los elementos individuales que forman parte de los compuestos. Por ejemplo, el potasio combinado con el cloro en forma de KCl se evapora casi en un 100 % en la zona de cocción, en tanto que el potasio combinado con el sulfato en forma de K_2SO_4 , en su mayoría abandonara el horno con el clínker.

La afinidad de reacción se presenta en el siguiente orden:

- 1.- El cloro reacciona principalmente con los álcalis, para formar NaCl y KCl, todo el cloro en exceso del álcali se combinará con el calcio para formar CaCl_2 .
- 2.- Una parte de los álcalis en exceso del cloro se combina con el azufre para formar Na_2SO_4 , K_2SO_4 y sales doble como $\text{Na}_2\text{K}_2(\text{SO}_4)_2$.
- 3.- Los álcalis que no se combinan con el cloro ni el azufre, se encontrarán en el clínker en forma de Na_2O y K_2O incorporados a los minerales de clínker.
- 4.- El azufre en exceso del álcali se combina con CaO para formar CaSO_4

4.2.4 Propiedades de los compuestos volátiles.

4.2.4.1 Volatilidad

Volatilidad o factor de evaporación (e), es la fracción que se evapora en la zona de cocción, en lugar de salir con el clínker del horno.

$$e = 1 - \frac{\% \text{ dentro del clínker}}{\% \text{ en la entrada del horno [libre de pérdida por ignición]}}$$

$e = 1$ (Todo se evapora y no sale nada con el clínker)

$e = 0$ (Nada se evapora y todo sale con el clinker)

4.2.4.2 Factores de evaporación promedios

Los compuestos del cloro KCl, NaCl y CaCl_2 presentan un factor de evaporación de 0.990 – 0.996 en el horno. Estos compuestos se funden a aproximadamente 800 °C y a los 1200 – 1300 °C están totalmente evaporados.

Los compuestos de sulfato con álcalis K_2SO_4 y Na_2SO_4 son generalmente más estables que el CaSO_4 , que es la forma que adopta el azufre en exceso de los álcalis. Los sulfatos de álcalis tienen factores de evaporación de 0.30 – 0.90 y normalmente están en la parte inferior del rango, mientras que el azufre en exceso tienen un valor de 0.75; por lo tanto, es aconsejable hasta donde sea posible que todo el azufre se combine con los álcalis. Esto se puede investigar analizando el índice molecular del azufre con los álcalis.

4.2.4.3 Índice molecular del azufre y los álcalis

La concentración de azufre y álcali puede aumentar hasta el punto que afecte la operación global del horno produciendo acumulación de material. Tanto la cantidad global, como las proporciones relativas, pueden ser la causa de ello. Individualmente son más dañinos para la operación del horno que sus componentes de sulfato K_2SO_4 y Na_2SO_4 , al igual que el K_2SO_4 tiene una temperatura de evaporación tan alta que entra al horno sin evaporarse. Lo mismo se aplica a aproximadamente la mitad del Na_2SO_4 , a pesar de que este sulfato empieza a separarse en Na_2O y SO_3 a temperaturas tan bajas como los 900 °C. El azufre en exceso de los álcalis formará un CaSO_4 más volátil, lo cual tiene un alto factor de evaporación en la zona de cocción del horno.

Se han desarrollado varias ecuaciones para calcular el índice molecular óptimo entre el azufre y el sistema del horno:

1)

$$\boxed{[\text{SO}_3/\text{Alk}]_{\text{optimo}} = \left[\frac{\text{SO}_3/80}{\text{K}_2\text{O}/94 + 0.5\text{Na}_2\text{O}/62} \right] = 1.1}$$

El azufre y los álcalis son el insumo total. Si el índice es superior a 1.1, se dice que hay una cantidad de azufre presente en el material del horno que no está cubierta por los álcalis y el exceso de azufre formará CaSO_4 .

La cantidad de azufre en exceso (E.S.) se expresa en gramos de SO_3 por 100 kg de clínker:

$$\text{E. S.} = 1000\text{SO}_3 - 850\text{K}_2\text{O} - 650\text{Na}_2\text{O} \quad [\text{g SO}_3 / 100 \text{ kg clínker}]$$

El límite de azufre en exceso se ha fijado en un rango de 250 – 600 g/100kg de clínker. Para una mezcla cruda de fácil combustión, el valor alto de 600 g SO_3 / 100 kg clínker no representa problemas para el funcionamiento del horno, para una mezcla cruda de fácil combustión, el límite inferior es el límite. Por encima de estos niveles el azufre ocasionará problemas por la formación de una película en la torre del precalentador

2)

$$\boxed{[\text{SO}_3/\text{Alk}]_{\text{optimo}} = \left[\frac{\text{SO}_3/80}{\text{K}_2\text{O}/94 + 0.5\text{Na}_2\text{O}/62 - \text{Cl}/71} \right]}$$

La ecuación resta el cloro de los álcalis y determina que rango óptimo es aproximadamente entre 0.7 – 1.2

4.2.4.4 Presión de vapor

Dentro del horno, el vapor se elimina constantemente y en consecuencia, la presión de vapor es prácticamente cero. En este caso, podemos asumir que la presión de vapor de equilibrio, es proporcional a la volatilidad del compuesto. Por lo tanto, una presión de vapor alta en equilibrio a una determinada temperatura, indica un alto factor de evaporación. Por lo tanto, los cloruros de álcalis se evaporarán antes que los sulfatos de álcalis.

Se considera que las presiones de vapor son funciones exponenciales de la temperatura, aumentando marcadamente al aumentar las temperaturas, hasta el punto en el cual la presión de vapor prácticamente se duplica en 100 °C. Por lo tanto, las elevadas temperaturas en la zona de cocción del horno promoverán los factores de alta evaporación y que pequeños cambios en la temperatura tendrán una marcada influencia sobre el factor de evaporación.

4.2.5 Consideraciones sobre el material volátil

4.2.5.1 Contenido del material volátil en el clínker

El álcali, el azufre y el cloro que se introducen al sistema terminarán en el clínker si no se les remueven a otra parte.

Para cumplir con las normas de cemento más comunes y mantener una alta calidad del clínker, se tienen los siguientes límites:

$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$.	1.5 %
SO_3	:	1.6 %
Cl^-	:	0.1 %

4.2.5.1.1 Clínker de bajo nivel de álcali

Generalmente en la normas se tiene los siguientes límites para un clínker de bajo contenido de álcali

$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$:	0.6 %
SO_3	:	1.6 %
Cl^-	:	0.1 %

$$\text{En donde } \text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0.658 \text{ K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$$

Lo ideal es que las materias primas tengan un bajo contenido de materias volátiles, de lo contrario será necesario evaporar y remover el componente volátil del horno.

4.2.5.1.2 Aumento del factor de evaporación

Para producir un clinker con bajo álcali, se puede aumentar el factor de evaporación aumentando la temperatura en la zona de cocción, que es lo mismo aumentar el factor de quemabilidad del clinker.

4.2.5.2 Emisión a la atmósfera

4.5.2.2.1 Emisión de partículas

Cuando existen partículas volátiles en forma de partículas ultra finas, estas se pueden escapar a través del precipitador, pero en los filtros de mangas la recuperación es casi del 100 % y el material recuperado regresa al sistema aumentando la circulación externa del material volátil.

4.5.2.2.2 Emisión de material gaseoso

El único componente gaseoso volátil en el gas de salida del precalentador es el SO_2 , del cual se escapará una fracción en la chimenea. El SO_2 gaseoso se forma por el proceso de combustión en el horno y en el calcinador, también se forma por descomposición térmica de los sulfatos en la zona de cocción.

En un horno con precalentador y calcinador, el gas de SO_2 que se forma en el horno se barre con los gases de combustión a través del precalentador, en donde la harina cruda calcinada en las etapas inferiores absorbe casi por completo al SO_2 para formar CaSO_4 . También las investigaciones realizadas demuestran

que el SO_2 que se forma en el calcinador es absorbido de manera instantánea y total por el CaO que se forma simultáneamente en el proceso de calcinación.

Una pequeña parte del azufre en la harina cruda puede estar presente en forma de pirita FeS o azufre orgánico que se convierte por combustión en SO_2 gaseoso en los ciclones superiores en un rango de temperatura de $400 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$ y que saldrá del precalentador; pero, una parte considerable $30 - 95 \%$ del SO_2 gaseoso es absorbido por la harina cruda en la instalación del molino de crudo, por lo que la emisión por la chimenea bajo condiciones operativas es insignificante.

4.2.5.3 Aspectos operacionales

4.2.5.3.1 Problemas operacionales debido a los componentes volátiles

Como resultado de la formación de costras en los tubos ascendentes y en los ciclones, la caída de presión en el sistema aumenta y se hace cada vez más difícil mantener el tiro en el horno, porque se trabaja con menos exceso de aire y se aumenta la carga circulante interna, bajando el arrastre de sulfato en el clínker y complicando más todavía la operación del horno, trayendo como consecuencia lo siguiente:

- Paradas frecuentes del horno para limpiar los ciclones con problemas de taponamientos en los ciclones, y caída de material refractario del intercambiador.
- Mayor consumo de calor.
- Reducción del régimen de producción.

4.2.5.3.2 Límites sobre el componente volátil dentro del sistema Horno con ciclones

La experiencia demuestra que si sobrepasan los límites normales, habrá una tendencia a producir bloqueos del ciclón y formación de anillos dentro del horno, por lo que será necesario limpiezas frecuentes. Para los límites máximos, se hace difícil operar el horno debido a las continuas paradas por atoro de los ciclones.

En donde $K_2O_{eq} = K_2O + 1.5 Na_2O$

Cloro como Cl^-

Azufre como SO_3

	Límite (%)	
	Normal	Máximo
K_2O_{eq}	3.7	6.0
Cloro	0.8	2.0
Azufre	2.5	5.0

4.2.5.3.3 Límites sobre la entrada de materiales volátiles al sistema Horno con ciclones y sin derivación.

El proceso de circulación establece en forma natural un límite superior a la entrada aceptable de los diferentes componentes volátiles en la mezcla del crudo y en el combustible. El límite alto se aplica cuando la mezcla cruda se quema fácilmente y el índice álcali/azufre es ideal.

En donde $K_2O_{eq} = K_2O + 0.65 Na_2O$

Cloro como Cl^-

Azufre como SO_3

	Límite (%)	
	Normal	Máximo
K ₂ O _{eq}	1	1.5
Cloro	0.023	0.023
Azufre	1	1.6

4.2.5.3.4 Límites sobre la entrada de materiales volátiles al Horno con calcinador y sin derivación.

Los hornos con calcinador y los hornos con ciclones, ambos sin derivación, pueden tolerar iguales cantidades de álcalis; sin embargo, el horno con calcinador puede tolerar menos azufre.

En donde $K_2O_{eq} = K_2O + 0.65 Na_2O$

Cloro como Cl⁻

Azufre como SO₃

	Límite (%)	
	Normal	Máximo
K ₂ O _{eq}	1	1.5
Cloro	0.015	0.015
Azufre	0.8	1.2

4.2.5.3.5 Sensibilidad a los materiales volátiles.

Los sistemas de horno con calcinador son más sensibles que los hornos con solo ciclones, a la entrada de cloro y azufre se requerirán instalaciones de derivación del gas para reducir los niveles de entrada de estos componentes por debajo de los niveles permisibles en los hornos SP. La razón para esa mayor sensibilidad se debe al menor índice de gas

de humo a clínker [Nm^3 / kg clínker] en el horno con calcinador, en donde apenas 320 kcal/kg de clínker o un 40 % del total de la combustión se lleva a cabo. La concentración de las materias primas volátiles en el gas de humos del horno rotatorio con calcinador expresada en g/Nm^3 llegará entonces a sus valores críticos con menos cloro y azufre presentes en las materias primas.

4.3 EFECTOS DE LAS CARGAS CIRCULANTES EN EL INTERCAMBIADOR DEL HORNO N° 2

4.3.1 Formación de anillos, adherencias y acumulaciones

La formación de costras en la zona de sinterización es beneficiosa para la protección de los ladrillos, mientras sea uniforme y estable; pero un crecimiento excesivo y localizado (formación de anillos) puede resultar perjudicial en la operación del Horno, ya que los anillos perturban especialmente el flujo de materiales dentro del horno, por disminución del área libre.

Los anillos no solamente producen una disminución de la producción en el sistema, sino también puede generar una atmósfera reductora, por la disminución en el flujo de gases causado por el estrangulamiento del área de flujo y la correspondiente disminución de la alimentación de aire.

Dependiendo de las condiciones, los anillos se pueden formar en distintas partes del horno rotativo.

En el intercambiador se forman acumulaciones de material por la condensación de los compuestos circulantes que se depositan sobre la superficie de los refractarios cuando alcanzan su temperatura de condensación.



Foto N° 5:

Encostramiento en la zona de sinterización del horno 2

La circulación es causada por la evaporación de compuestos presentes en el material de cocción. A medida que se mueven hacia las zonas más calientes, se gasifican cuando alcanzan su temperatura de ebullición, incorporándose como vapores a la corriente de gases y fluyendo hacia las zonas más frías del sistema (los últimos ciclones y la cámara de enlace). En su recorrido, se enfrían progresivamente hasta que alcanzan su punto de rocío y se condensan, incorporándose de nuevo al material de cocción. Dependiendo de las condiciones locales, algunos vapores o líquidos pueden infiltrarse en los refractarios, penetrando a través de su porosidad hasta el punto donde cristalizan, causando el desgaste de los anclajes por corrosión y desprendimiento de refractarios. Algunos de estos compuestos salen del sistema con el polvo. Algunos se acumulan sobre las superficies de los refractarios causando disturbios en los flujos de material de cocción y gases en las áreas afectadas. Si las

acumulaciones crecen más allá de un cierto punto, aumenta el riesgo de bloqueo total del flujo por desprendimiento de costras.

Los desprendimientos de costras pueden impactar violentamente sobre los materiales refractarios causándoles daños. Cuando se desprenden, las sales se incorporan de nuevo al flujo del material de cocción, viajando hacia las zonas calientes donde se evaporan de nuevo repitiéndose el ciclo.



Foto N° 6:

Encostramiento en la zona del intercambiador.

Tabla N° 1: Sales presentes en revestimientos refractarios de hornos quemados con carbón y combustibles alternos ⁽³⁾

COMPUESTOS	NOMBRE MINERALÓGICO	FÓRMULA QUÍMICA	PUNTO DE FUSIÓN °C [DESCOMP. O TRANSF.]	PUNTO DE EBULLICIÓN °C	DENSIDAD g/cm ³
Sales alcalinas y alcalino-terreas	Sylvine	KCl	772	1500	1,98
	Halite	NaCl	801	1413	2,17
	Potash	K ₂ CO ₃	897	Descompone	2,43
	Soda	Na ₂ CO ₃	852	Descompone	2,55
		K ₂ CO ₃ ·1,5H ₂ O			2,16
	Arcanite	K ₂ SO ₄	1074	1689	2,66
		Na ₂ SO ₄	884	1429	2,7
	Anhydrite	CaSO ₄	1397	Descompone	2,96
	Aphthitalite	3K ₂ SO ₄ ·Na ₂ SO ₄	Estable abajo de 400/500 °C		2,7
		K ₂ SO ₄ ·CaSO ₄	867 eutéctico		
	Calcium langbeinite	K ₂ SO ₄ ·2CaSO ₄	936		
	Glauberite	Na ₂ SO ₄ ·2CaSO ₄			2,81
	Lanbeinite	K ₂ SO ₄ ·2MgSO ₄	930		2,83
	Syngenite	CaSO ₄ ·K ₂ SO ₄ ·H ₂ O	1004		2,6
		K ₂ (Cr ⁶⁺ ,S)O ₄			
	K ₂ (Cr ⁶⁺ O ₄	968		2,73	
Sulfuros alcalinos y alcalino térreos		K ₂ S	840		1,81
		K ₂ S ₃	252		
		KFeS ₂			2,56
Óxidos y sulfuros de hierro	Oldhamite	CaS	2450	Descompone	2,56
	Magnetite	Fe ₃ O ₄	1594		5,13
	Hematite	Fe ₂ O ₃	1385		5,26
	Troilite	FeS	1193-1199	Descompone	4,74
	Pyrrotine	Fe _{1-x} S			
	Pyrite	FeS ₂	1171		5
Sulfuros de metales pesados	Galenite	PbS	1114		7,5
		Cd _{9,5} Zn _{0,5} S ₁₀			
Silicatos de tierras alcalinas	Merwinite	C ₃ MS ₂	[1575]		3,15
	Monticellite	CMS	[1490]		3,2
	Forsterite	M ₂ S	1890		3,13
Aluminatos alcalino térreos y silico aluminatos alcalino térreos	Mayenite	C ₁₂ A ₇	1455		2,69
	Ye'elimitite	C ₄ A ₃ ·SO ₃	1590		
	Melitite	C ₄ AMS ₃	1390		2,95
		C ₃ MA ₂			
	Anorthite	CAS ₂	1550		2,77
	Gehlenite	C ₂ AS	1590		3,04
Silico aluminatos alcalinos	Sanidine	KAS ₆	[1150]		2,58
	Leucite	KAS ₄	1150		2,51
	Kalsilite	KAS ₂	923		2,59
	ββAl ₂ O ₃	(K,N)A ₁₁	1565		3,17



Foto N° 7:

Vista general del calcinador del Horno 2



Foto N° 8: Parte superior del calcinador lado molino de crudo 1

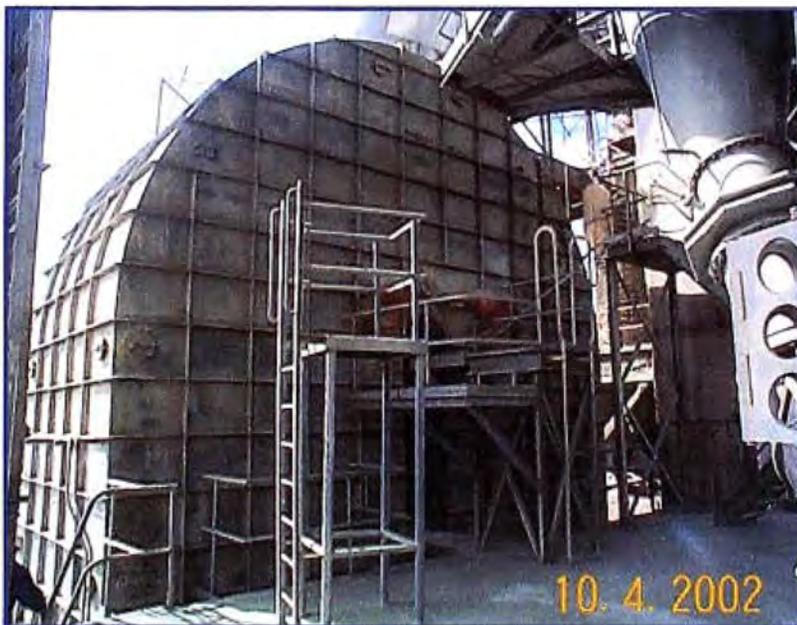


Foto N° 9: Parte superior del calcinador lado Horno 2

4.3.2 Corrosión de los anclajes, caída de ladrillos y castables.

En el intercambiador, especialmente en la zona del calcinador, se ha presentado casos de corrosión en los anclajes que sostienen al castable, hasta destruirlo por completo quedando el monolito sin el soporte con la plancha, para posteriormente caerse causando daños en los ladrillos de la cámara de enlace.



Foto N° 10: Corrosión del anclaje.

Inicialmente, se usaban virutas metálicas en la preparación del castable, con la finalidad de darle mayor consistencia al monolito, pero ello resulto perjudicial ya que estas virutas eran atacadas por los cloruros y sulfatos, creando el espacio necesario para seguir penetrando a través de estos poros, para llegar a los anclajes y destruirlos justo entre el castable y el aislante.



Foto N° 11:

Corrosión del anclaje dentro del castable.

Debido a que los castables con sus respectivos anclajes no dieron los resultados esperados, se instalaron en la zona del calcinador, ladrillos machimbrados que se amarraban entre si, pero como los lados son muy amplios, las paredes con ladrillos machimbrados terminaban cayéndose debido al ingreso de polvo y al enfriarse bombeaba la pared en su parte central.

Estas pruebas realizadas, nos servían para analizar lo que se encontraba en la parada del horno e ir mejorando en las siguientes pruebas. Se observó que los monolitos de castable, se caían casi enteros por la corrosión de sus anclajes y, en el aislante que quedaba se impregnaba de costras; por lo que, se realizaron otras pruebas colocando castables sin aislantes y por otro lado colocando solamente aislantes.



Foto N° 12: Ladrillos machimbrados



Foto N° 13: Ladrillo machimbrado con sales de silvina



Foto N° 14: Caída de ladrillos por la parte central de la pared.



Foto N° 15: Desprendimiento de los ladrillos.



Foto N° 16:

El aislante se conserva a pesar de caerse el ladrillo machimbrado.

4.4 TRABAJOS REALIZADOS EN EL INTERCAMBIADOR DEL HORNO

N° 2

Se muestra una reseña cronológica de cómo se empezó a trabajar hasta las condiciones actuales. Inicialmente se colocaron ladrillos refractarios (Refratechnik), que luego se fueron reemplazando por castables con aislantes, luego con castables sin aislantes, luego se instalaron aislantes solos, luego ladrillos machimbrados (Repsa) solos y finalmente ladrillos machimbrados con columnas de castable al centro. Todos estos cambios se realizaron con el fin de evitar la caída de materiales refractarios que ocasionaban una parada del horno, debido al ataque de los cloruros y sulfatos a los anclajes metálicos.



Foto N° 17: Castable sin aislante



Foto N° 18: Pared de ladrillos machimbrados con columna al centro



Foto N° 19: Ladrillos machimbrados con columna al centro

Debido a que las paredes de ladrillos machimbrados se caían por su parte central, se colocaron los ladrillos machimbrados con una columna de castable al centro de la pared para darle mayor amarre, lo cual ha dado mejores resultados.

4.4.1 Año 1999

A finales de 1999 entro en Operación los nuevos equipos de la Fabrica como la Chancadora Cónica y el Horno 2 – Molino de Crudo 1, lo que ha permitido alcanzar una capacidad de producción de 1'000,050 TM de Clínker anuales.

La producción de Clínker en 1999 fue de 670,471 TM un 2.06% menos que la registrada en 1998. El Horno 2 estuvo parado desde Agosto hasta la quincena de Noviembre, tiempo durante el cual se realizaron las conexiones establecidas en el Proyecto de Ampliación del Horno, para

aumentar la producción de 450 TM/Día a 1400 TM/Día. Llegando el Horno 2 producir un promedio de 1100 TM de Clínker/Día.

**Tabla N° 2: INSTALACIÓN DE REFRACTARIOS -
PROYECTO DE AMPLIACIÓN HORNO 2**

Ubicación	Ladrillos (TM)	Morteros (TM)	Castables (TM)
Cámara de entrada	2.277	0.100	4.450
Calcinador - Parte inferior	26.906	0.750	28.050
Calcinador - Parte superior	101.014	2.950	54.700
Calcinador - Cabeza	13.835	0.400	18.300
Calcinador - Caja	41.123	1.200	20.350
Calcinador - Codo	21.018	0.650	5.500
Ducto de gas - Etapa 1	34.996	1.050	6.950
Caja de dispersión - Etapa 1	0.040		0.600
Caja de dispersión - Etapa 2	0.061		2.050
Ducto aire terciario	46.048	1.400	40.250
Ducto de gas - Etapa 2	25.649	0.800	5.550
Ducto de gas - Etapa 3	25.649	0.800	5.550
Ducto de gas - Etapa 4	25.649	0.800	5.550
Ducto de gas - Etapa 5	25.649	0.800	5.550
Ciclón - Etapa 1	35.133	2.500	21.150
Ciclón - Etapa 2	40.847	1.200	16.500
Ciclón - Etapa 3	40.847	1.200	16.500
Ciclón - Etapa 4	40.847	1.200	16.500
Ciclón - Etapa 5	40.891	1.200	17.200
Ciclón - Etapa 6	40.875	1.200	17.000
Caja de dispersión - Etapa 3	0.061		2.050
Caja de dispersión - Etapa 4	0.061		2.050
Caja de dispersión - Etapa 5	0.061		2.050

Caja de dispersión - Calcinador	0.016		3.950
Ducto de alimentación de harina 1			1.100
Ducto de alimentación de harina 2			1.150
Ducto de alimentación de harina 3			1.150
Ducto de alimentación de harina 4			1.150
Ducto de alimentación de harina 5			12.250
Ducto de alimentación de harina 6			7.250
Horno rotativo diámetro 3.6 m	111.532	0.950	3.600
Cabeza móvil	80.323	2.350	54.650
Válvula corredera			1.600
TOTAL EN TM	821.408	23.500	402.250
TOTAL EN TM	1247.158		

4.4.2 Año 2000

Este año se observa un aumento en la productividad con respecto a los años anteriores como consecuencia de las modificaciones que se le realizaron en el Proyecto de Ampliación y Mejoramiento del Horno 2, lo cual incrementó su producción en un 258 % con respecto al año anterior.

En promedio la productividad del Horno 2 fue de 50.06 TM/h que comparado con años anteriores (18 – 20 TM/h) es una mejora significativa; además, los valores de consumo calorífico han disminuido de 1,100 a 880 kcal / kg.Clinker. El Porcentaje de utilización del Horno 2 en promedio fue de 66.88 %.

En el mes de Marzo se puso en operación el accionamiento de la compuerta del aire terciario, se modificó el shute de descarga de polvo fino del cabezal del Horno y se instaló la cadena de arrastre corta.

Durante los meses de Julio – Agosto, el Horno paro con motivo de realizar el cambio de la corona y el piñón del Molino Crudo 1, tiempo durante el cual se aprovechó para realizar el cambio de codo del Ciclón VI.

Todavía no se observa acumulación de las sales de silvina en el calcinador.

4.4.3 Año 2001

El Horno 2 aumento ligeramente su productividad con respecto al año anterior (51.15 TM/h), e incluso ha llegado a producciones diarias mayores a 1400 TM de clínker. El consumo calorífico, se han mantenido similar al registrado el año anterior (850 kcal / kg. Clínker). El factor de utilización de esta unidad ha sido de 65 %, un poco menor que el año anterior dadas las paradas que se realizaron por alto Stock de Clínker.

En el mes de enero se realizaron trabajos de reparación en el ducto del aire terciario. Se modificaron las placas del cono de entrada para evitar que el material se regrese por el sello de entrada del Horno.

Entre el 15 de julio y la primera quincena de septiembre el Horno II estuvo parado por mantenimiento general. Después de la visita e inspección del técnico de Refratechnik por el contenido de álcalis en el sistema, se decide cambiar los ladrillos del Calcinador y del cono del ciclón VI por vaciado con castable Riserclean, el costo del material que involucró esté cambio fue asumido por Refratechnik.

En la parada del 04 al 11 de noviembre se hicieron los siguientes trabajos en el horno: Cambio de ladrillos en la rampa ya que se encontraban cuarteadas por caída de refractarios del calcinador, se reparó la jeta y el cono de entrada.

El 28 de diciembre paró el horno por atoro del ciclón VI, debido a la caída del castable del cono inferior de este ciclón. En esta parada se volvieron a cambiar los ladrillos de la rampa porque se encontraron 02 hileras de ladrillos con hendiduras, también se reparó la jeta por estar rozando con las placas del sello de entrada, se rebajó en 20 mm para mantener la luz entre las placas y la jeta.

En este año ya se observan acumulaciones de sales de silvina, desprendimiento de refractarios (debido al ataque de los cloruros y sulfatos hacia los anclajes) y desgaste de ladrillos de la rampa de la cámara de enlace por caída de refractarios del calcinador, por lo que se presentó un reclamo a Refratechnik, que enviaron su técnico para evaluar y solucionar el problema presentado.

Se realizan los controles de sulfatos tanto en el material que ingresa como en el clínker que sale del horno.

Tabla N° 3: Factores del sulfato 2001

2001	F1>1.10	F2>0.25	F3>0.30
	F1	F2	F3
	(SO ₃ clink/ SO ₃ AlimH2)	(1/ SO ₃ C6)	1.55*F1*F2
Enero			
Febrero			
Marzo	1,90	0,45	1,34
Abril	2,03	0,37	1,17
Mayo	1,16	1,19	2,14
Junio	1,16	1,19	2,14
Julio	1,53	1,44	3,56
Agosto	2,60	1,63	6,51
Septiembre			
Octubre	1,67	0,35	1,00
Noviembre	2,21	0,53	1,84
Diciembre	2,09	0,42	1,38
Promedio	1,82	0,84	2,34

Gráfico N° 1: Seguimiento de los sulfatos 2001

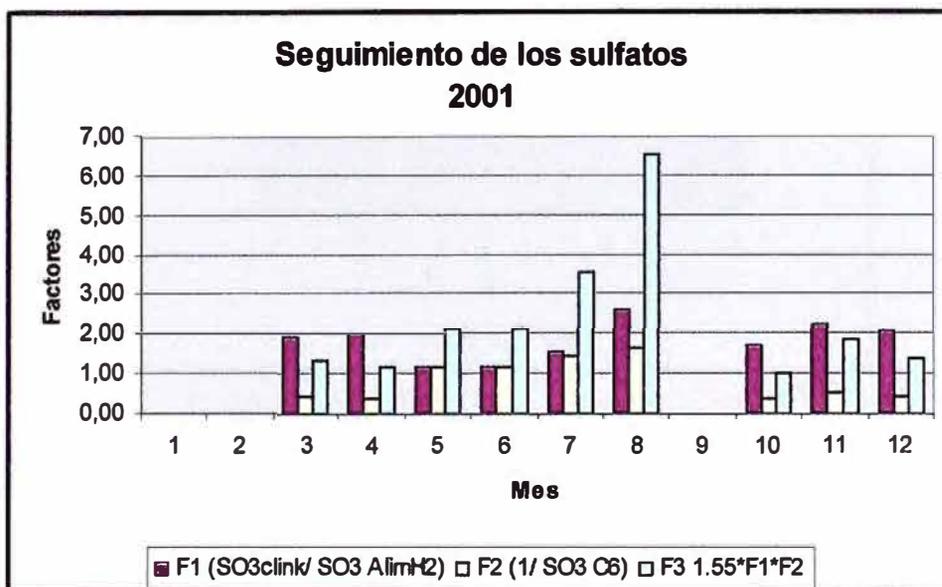


Tabla N° 4: Álcalis y sulfato en el clínker 2001

2001	ALCALIS Y SULFATOS EN CLINKER					
	K ₂ O (% Peso)	Na ₂ O (% Peso)	SO ₃ (% Peso)	Álcalis totales (% Peso)	M(SO ₃) *	ASR *
Enero						
Febrero						
Marzo						
Abril						
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						
Septiembre						
Octubre						
Noviembre	0,55	0,10	0,46	0,46	0,83	1,22
Diciembre	0,44	0,10	0,45	0,39	0,97	1,39
Promedio	0,50	0,10	0,45	0,43	0,90	1,30

(*) Ver fórmulas al final del anexo.

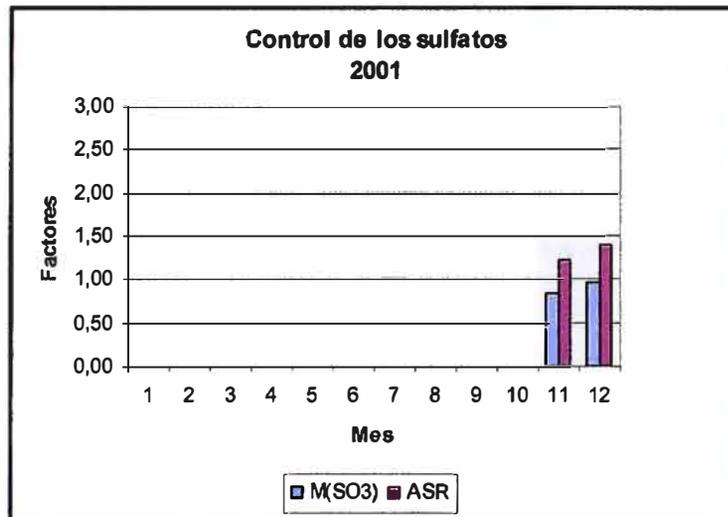


Gráfico N° 2: Control de los sulfatos 2001

Después de casi 2 años de operación con el sistema ILC, ya se pueden apreciar los daños ocasionados por el ataque de las sales de Silvina hacia los anclajes. Con la recomendación de Refratechnik se colocan castables de alta impermeabilidad (Riserclean) con aislantes, en reemplazo de las paredes de ladrillos.

4.4.4 Año 2002

El 18/01/02 paró el Horno 2 para reparación general y se realizaron los siguientes trabajos:

Cambio de ladrillos en el horno

- De 0 a 1.20 m. se puso ladrillos Almag 85.
- De 5.0 a 9.0 m. (4.0 m.) se puso ladrillos Radex AS- 90S- CB.
- De 9.0 a 22.75 m. (13.75 m.) se puso ladrillos Almag 85.

Se hizo parches en el cono de entrada al horno.

En el cabezal, se bajó 0.90 m. de la cortina.

Se modificó el ducto de descarga del ciclón 6 y la rampa de la cámara de enlace, para darles la misma pendiente. Además se amplió el encuentro entre ellos, dándole la forma de una “boca de pato”.

En el riser, calcinador hasta la entrada del ciclón 6, en total se vació con castable 19.32 m².

Se cambió todos los ladrillos de la rampa. Se puso ladrillos rectos de Repsa.

El 07/05/02 paró el Horno por atoro en el ciclón 6 debido a caída de placas del tubo de inmersión. Se realizaron los siguientes trabajos:

Se hizo un vaciado de 0.40 m. en el cono de entrada del horno.

Se reparó la punta de la tobera con castable Harcast ES.

En el riser, calcinador hasta la entrada del ciclón 6, en total se vació con castable 90.84 m².

Se cambió los ladrillos de la rampa. Se puso ladrillos Kronex 30.

En esta reparación se puede observar mayor concentración de sales de silvina entre la cara fría del refractario y el aislante. Estas sales tienen predilección por el anclaje metálico, destruyéndole por completo. En algunas muestras se observa que la migración de las sales es hacia el aislante, de la cara caliente del refractario hacia la cara fría del mismo. En lugares donde no se encontró el refractario, se puede apreciar que las sales han migrado a través de las costras adheridas y se concentraron en todo el aislante. La mayor concentración de estas sales, se encontraron en el ducto de bajada del codo del calcinador hacia el ciclón 6.

El 31/07/02 para el Horno por alto stock de clínker y para instalar el un nuevo quemador de C. Greco en el cabezal. Se realizaron los siguientes cambios de ladrillos y de castables:

- De 0.0 a 1.20 m. (1.20 m.) se puso ladrillos Kronex 85.
- De 1.20 a 1.40 m. (0.20 m.) se puso ladrillos. Almag 85.
- De 22.10 a 23.32 m. (1.20 m.) se puso ladrillos Radex AS90-S.
- De 23.32 a 24.82 m. (1.50 m.) se puso ladrillos Almag 85.

En el cono de entrada se hizo un vaciado de 0.35 m. con castable Versaflo 45.

Se cambió todos los ladrillos de la rampa, se puso ladrillos rectos de Repsa.

En el riser, calcinador hasta la entrada del ciclón 6, en total se vació con castable 101.49 m².

Se puede apreciar que continúa el ataque de las sales a los anclajes y paredes del calcinador.

El 25/10/02 paró el Horno por caída de ladrillos de 09 segmentos de la boca de salida del horno; estos segmentos estaban recubiertos solo con costras y se encontró que todos los pernos de sujeción de los segmentos, estaban flojos. Los cambios de ladrillos en el horno e instalación de castables fueron:

- Se vació 0.80 m. con castable Versaflow 70 en la boca de salida.
- De 0.80 a 1.0 m. (0.20 m.), se colocó ladrillos Kronex 85.

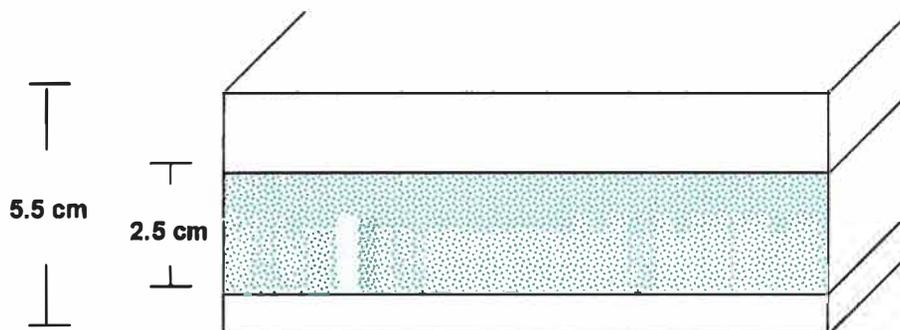
En el riser, calcinador hasta la entrada del ciclón 6, en total se vació con castable 14.95 m².

ANÁLISIS DEL AISLANTE CON INFILTRACIONES DE SALES DE SILVINA

Muestra 1: Aislante retirado del Calcinador. Las características de esta muestra se representan en la siguiente figura:



Foto N° 20: Aislante con infiltración de sales de Silvina



Existe una deposición compacta de silvina entre los poros del material aislante, incrementándose como consecuencia su densidad.

Muestra 2: Aislante nuevo, como unidad de comparación.

Metodología:

Muestreo de la zona afectada y preparación de muestras.

Determinación de propiedades químicas y físicas de las muestras.

Análisis y discusión de resultados.

Resultados:

Análisis Químico Cualitativo:

La muestra molida se llevó a disolución en agua destilada, a fin de disolver la sal depositada entre los poros del aislante.

En la solución filtrada, al añadir AgNO_3 (Sol. al 5%), precipitó en gran proporción el cloruro correspondiente (AgCl), comprobándose de esta manera un alto contenido de SILVINA.

Propiedades Físicas:

	Densidad (g/cm ³)
Muestra 1:	2.448
Muestra 2:	1.018

En base a la diferencia de densidades, se procedió a calcular el porcentaje de incremento en peso del aislante por efecto de la deposición de Silvina:

Para un mismo volumen de material aislante:

$$V_i \approx V_f$$
$$\rho_i * W_f \approx \rho_f * W_i$$

Por lo tanto:

$$W_f \approx W_i * \frac{2.448}{1.018} \approx 2.405 * W_i$$

Análisis y Discusión

Los resultados mostrados nos indican la presencia de un alto contenido de SILVINA (KCl) dentro del material aislante. Esta sal aparentemente ingresa al aislante a través de sus poros en fase vapor, depositándose al encontrar las condiciones de temperatura de condensación y posterior cristalización.

De la diferencia de densidad encontrada, el material aislante incrementa su peso en aproximadamente 2.4 veces. Dicho incremento es consecuencia de la deposición de la sal KCl en los poros del aislante.

Es importante señalar la forma de cristalización de la silvina dentro del material aislante, caracterizado por su forma compacta, a diferencia de los cristales formados en la superficie de los castables y costras del circuito de intercambiadores y calcinador (cristales laminares).

Se continúa realizando el seguimiento y control de los sulfatos, tanto en el material que ingresa, como en el clínker que sale del horno.

Tabla N° 5: Factores del sulfato 2002

2002	F1>1.10	F2>0.25	F3>0.30
	F1	F2	F3
	(SO ₃ clink/ SO ₃ AlimH2)	(1/ SO ₃ C6)	1.55*F1*F2
Enero	2,04	0,37	1,20
Febrero	2,31	0,55	1,98
Marzo	2,53	0,54	2,12
Abril	2,38	0,48	1,80
Mayo	2,59	0,49	1,94
Junio	2,99	0,46	2,14
Julio	3,14	0,54	2,68
Agosto			
Septiembre	4,62	0,52	3,70
Octubre	4,29	0,60	3,91
Noviembre	3,00	0,61	2,87
Diciembre	3,77	0,79	4,63
Promedio	3,06	0,54	2,63

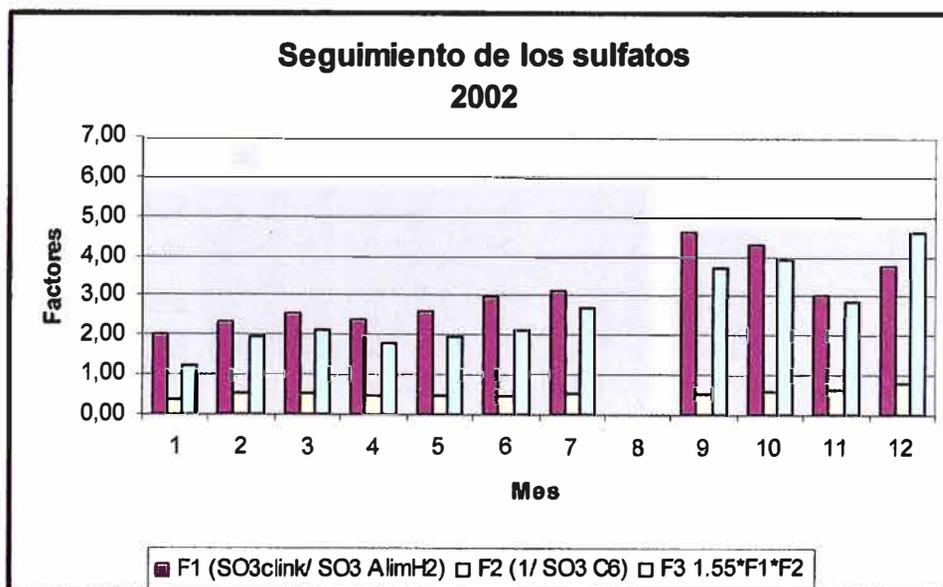


Gráfico N° 3: Seguimiento de los sulfatos 2002

Tabla N° 6: Álcalis y sulfato en el clínker 2002

2002	ALCALIS Y SULFATOS EN CLINKER					
	K ₂ O (% Peso)	Na ₂ O (% Peso)	SO ₃ (% Peso)	Álcalis totales (% Peso)	M(SO ₃) *	ASR *
Enero	0,42	0,10	0,51	0,38	1,16	1,63
Febrero	0,48	0,10	0,57	0,42	1,16	1,67
Marzo	0,47	0,10	0,57	0,41	1,18	1,69
Abril	0,45	0,11	0,56	0,41	1,18	1,67
Mayo	0,39	0,10	0,49	0,36	1,17	1,65
Junio	0,41	0,09	0,45	0,36	1,08	1,53
Julio	0,41	0,08	0,51	0,35	1,28	1,81
Agosto						
Septiembre	0,30	0,07	0,54	0,26	1,83	2,47
Octubre	0,36	0,07	0,53	0,30	1,59	2,15
Noviembre	0,35	0,08	0,49	0,31	1,40	1,93
Diciembre	0,37	0,07	0,53	0,31	1,48	2,06
Promedio	0,40	0,09	0,52	0,35	1,32	1,84

(*) Ver fórmulas al final del anexo.

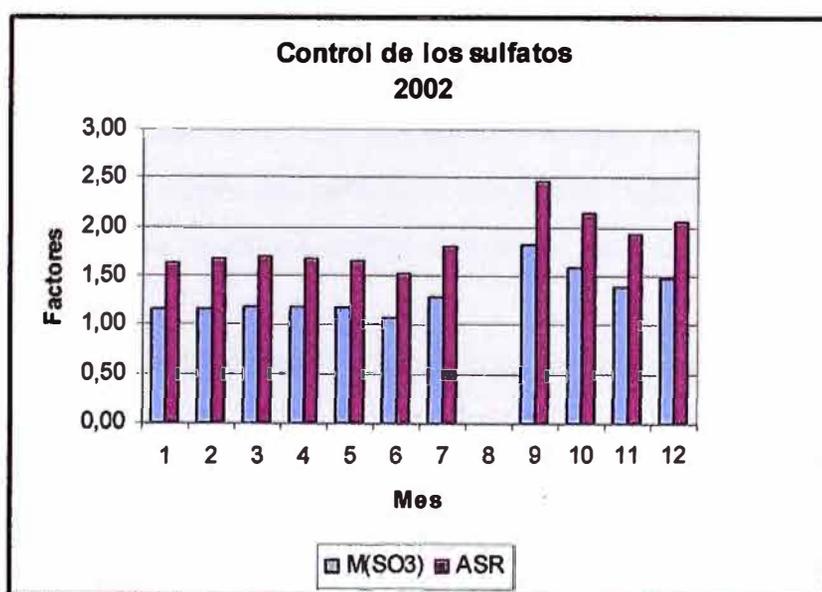


Gráfico N° 4: Control de los sulfatos 2002

Para este año, se siguen cayendo las paredes con ladrillos de Refratechnik; así como, los de castable con aislante que fueron atacados por la Silvina.

También se pudo observar infiltraciones de estas sales en los aislantes; por lo que, esta vez se realizan pruebas de castables con aislantes pero mejorando el sello de la junta de dilatación, asimismo, se pusieron castables sin aislantes.

4.4.5 Año 2003

La producción anual de clínker en el horno 2 llegó a los 393 944 TM, que representa el 22.4 % mayor respecto a lo programado en la opción D del Plan Anual de producción (321 827 TM).

El promedio anual de producción fue de 57 TPH vs. 52 TPH considerados en el plan anual de producción, obteniéndose una mejora en la productividad.

Del 22/01 al 28/01/03 paró el Horno por caída de ladrillo del anillo de retención, se realizaron los siguientes cambios de ladrillos y de castables:

- Se cambió 0.80 m. con Versaflow 70 en la boca de salida.
- Seguido de 0.98 m. con ladrillos Magnel RS.

También se reparó una parte de la tobera con castable Refracorund 95.

En la cámara de enlace se hizo un cambio total de ladrillos con ladrillos Repsa.

En el intercambiador (7mo piso lado horno 3) se puso en calidad de prueba solamente aislante en total 1.35 m².

Del 01/05 al 04/06/03, se paró el horno para reparación general, se cambiaron ladrillos en el Horno desde la salida de acuerdo al siguiente arreglo:

- 0.85 m. con Refracorund 95 en la boca de salida.

- Seguido de 10.10 m. con ladrillos Almag 85.
- Luego 8.85 m. con ladrillos Magnel RS y para el cierre se utilizó ladrillos Almag 85L.

También se realizaron vaciados en el quemador, en la bóveda del cabezal, enfriador, cámara de enlace, aire terciario e intercambiador.

Cabe resaltar que en el calcinador se realizaron la mayor cantidad de vaciados:

En la bóveda con Versaflo 45 y Riser Clean la cantidad de 25.23 m².

En el ducto de ascenso la cantidad de 174.16 m² con Versaflo 45, 8.67 m² con Tufshot LI y en calidad de prueba, con ladrillos Varmon BP machimbrados la cantidad de 220.04 m².

En el ducto de descenso se vaciaron 70.56 m² con Versaflo 45 y Tufshot LI, y se colocaron en calidad de prueba 97.92 m² de ladrillos antiácidos machimbrados.

Del 24/08/03 al 02/09/03, se paro el Horno para reparación general y se realizaron los siguientes cambios de ladrillos y de castables:

Se cambiaron ladrillos del metro 20 hasta el metro 42 del horno; en el siguiente arreglo: 10.92 m. con ladrillos Almag 85, 8.28 m. con ladrillos Alusite, 2.20 m. con ladrillos Repsa 18 y para el cierre se utilizó ladrillos Almag 85L.

También se realizaron vaciados en la bóveda del cabezal, enfriador, cámara de enlace, aire terciario e intercambiador.

En la rampa de la cámara de enlace se instalaron en calidad de prueba ladrillos machimbrados Antiácido en lugar de los ladrillos rectos.

EVALUACIÓN DE LOS CLORUROS EN LOS SISTEMAS DE HORNOS

Con la finalidad de determinar el porcentaje de Cloro Total alimentado a los Hornos 2 y 3, se realizaron una serie de cálculos basados en los resultados de

análisis de cloro en las materias primas y combustible empleados, proporcionados tanto por Refratechnik y ARPL.

1) Características del KCl (Silvina)

	T (° C)
Fusión	776 - 810
Sublimación	1500

2) Temperatura en los intercambiadores – Horno 2

CICLONES	T (° C)
Ciclón I	310
Ciclón II	450
Ciclón III	590
Ciclón IV	710
Ciclón V	805
Ciclón VI	810
Piroclón	870

3) Determinación del cloro total en el horno

3.1) Datos de los hornos 2 y 3

	Prod. Clinker* Ton/h	Cons. Cal. kcal/kg	Pérd. por Ignición (%)	Pérd. de Polvos (%)	Cloro en Harina Cruda (%) **	Poder Cal. Comb.	Cloro en combustible Carbón (%)	
							Refratechnik	ARPL
HORNO 2	61,63	849	35,66	0,074	0,0045	6900	0,01	0,11
HORNO 3	80,50	925	34,25	0,028	0,0047	6900	0,01	0,11

* Producción de los días 08/01/03 (Horno 2) y 28/01/03 (Horno 3).

**Determinación de % Cloro en Harina Cruda

	% Cloro*	Dosificación (%)		% Cloro	
		Crudo 1	Crudo 2	Crudo 1	Crudo 2
C. Alta	0,005	54,91	61,52	0,0027	0,0031
C. Baja	0,004	37,82	35,52	0,0015	0,0014
Arcilla	0,001	2,49	1,64	0,0000	0,0000
Oxido Fe	0,004	4,78	4,31	0,0002	0,0002
Total				0,0045	0,0047

*Análisis reportado por ARPL.

3.2) Control de Cloro Total en los Hornos:

Base de Cálculo:

61.63 Ton Clínker/ h (Horno 2)

80.50 Ton Clínker/ h (Horno 3)

a) Combustible requerido (Ton/h) y su Contenido de Cloro (g/h)

$\text{Ton Comb / h} = (\text{kcal/kg Clinker})(\text{Ton Clinker/h}) / (\text{kcal/kg Comb.})$

$\text{Cl Comb (g/h)} = (\text{Ton Comb / h}) (\% \text{ Cloro Comb}) * 10000$

	Combustible (Ton/h)	Cl Combustible (g / h)	
		Refratechnik	ARPL
HORNO 2	7,58	758,32	8338,0
HORNO 3	10,79	1079,17	11869,0

b) Harina Cruda requerida (kg/h) y Cl en Combustible por kg. de Harina Cruda (g Cl / kg H.C.)

$\text{kg Harina Cruda/h} = (\text{Ton Clínker/h}) [1 / (1 - \text{LOI} - \text{Pérdida Polvos})] * 1000$

$\text{g Cloro Comb./ kg H. Cruda} = (\text{g Cloro / h}) (\text{h / kg H. Cruda})$

	Harina Cruda (kg/ h)	Cl Combustible/ kg H.Cruda (g Cl/ kg H.C.)	
		Refratechnik	ARPL
HORNO 2	95898,30	0,008	0,087
HORNO 3	122485,62	0,009	0,097

c) % Cloro del Combustible empleado

$\% \text{ Cloro del Combustible} = (\text{g Cloro Combustible/ kg H. Cruda}) / 10$

	% Cloro de Combustible	
	Refratechnik	ARPL
HORNO 2	0,0008	0,0087
HORNO 3	0,0009	0,0097

3.3) Total de Cloro en los Hornos:

$\text{Cloro Total} = \% \text{ Cloro en el Alimento} + \% \text{ Cloro del Combustible}$

	Cloro Total (%)	
	Refratechnik	ARPL
HORNO 2	0,0053	0,0132
HORNO 3	0,0056	0,0144

De los estudios realizados por Locher, si el contenido de cloruro en el horno excede 0.010 - 0.015 % en peso, el ciclo del cloro en el sistema del horno se incrementará peligrosamente. También observó que se hace necesario "baypassar" parte de los gases del horno, cuando el contenido de cloro excede 0.015 % del alimento.

Conclusiones

Los niveles de cloro total, tanto en el Horno 2 como el Horno 3, no exceden los límites señalados por Locher, teniendo en cuenta los resultados de análisis proporcionados por Refratechnik y ARPL. Por lo tanto, la solución del problema de solidificación de Silvina en el sistema de intercambiadores, no estaría en el uso de un sistema by-pass para separar parte de los gases del horno.

Se continúa realizando el seguimiento y control de los sulfatos, tanto en el material que ingresa, como en el clínker que sale del horno.

Tabla N° 7: Factores del sulfato 2003

2003	F1>1.10	F2>0.25	F3>0.30
	F1	F2	F3
	(SO ₃ clink/ SO ₃ AlimH2)	(1/ SO ₃ C6)	1.55*F1*F2
Enero	3,61	0,91	5,12
Febrero	3,74	1,07	6,94
Marzo	3,50	1,01	5,46
Abril	4,14	0,86	5,56
Mayo			
Junio	3,42	0,64	3,45
Julio	3,03	0,68	3,22
Agosto	3,28	1,11	5,68
Septiembre	3,64	0,77	4,41
Octubre	2,93	0,68	3,11
Noviembre	2,65	0,72	2,88
Diciembre	4,14	0,72	4,60
Promedio	3,46	0,84	4,58

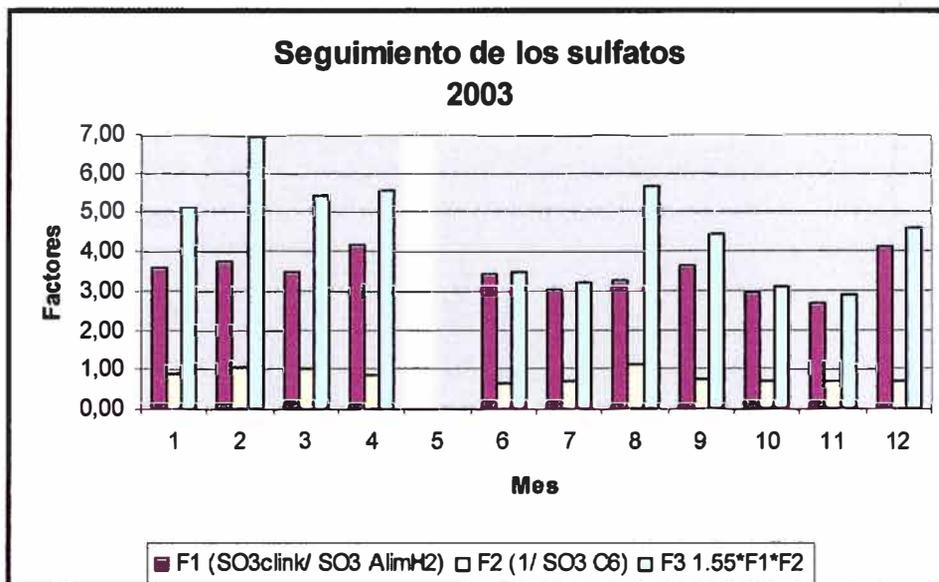


Gráfico N° 5: Seguimiento de los sulfatos 2003

Tabla N° 8: Álcalis y sulfato en el clinker 2003

2003	ALCALIS Y SULFATOS EN CLINKER					
	K ₂ O (% Peso)	Na ₂ O (% Peso)	SO ₃ (% Peso)	Álcalis totales (% Peso)	M(SO ₃) *	ASR *
Enero	0,45	0,07	0,51	0,37	1,20	1,71
Febrero	0,51	0,07	0,48	0,40	1,02	1,48
Marzo	0,52	0,07	0,50	0,41	1,05	1,54
Abril	0,41	0,07	0,46	0,34	1,19	1,64
Mayo						
Junio	0,50	0,10	0,56	0,43	1,16	1,60
Julio	0,53	0,07	0,53	0,42	1,06	1,59
Agosto	0,60	0,07	0,47	0,47	0,86	1,27
Septiembre	0,54	0,07	0,45	0,43	0,90	1,33
Octubre	0,56	0,07	0,50	0,44	0,97	1,44
Noviembre	0,60	0,07	0,55	0,46	1,00	1,48
Diciembre	0,47	0,07	0,50	0,38	1,13	1,64
Promedio	0,52	0,07	0,50	0,41	1,05	1,52

(*) Ver fórmulas al final del anexo.

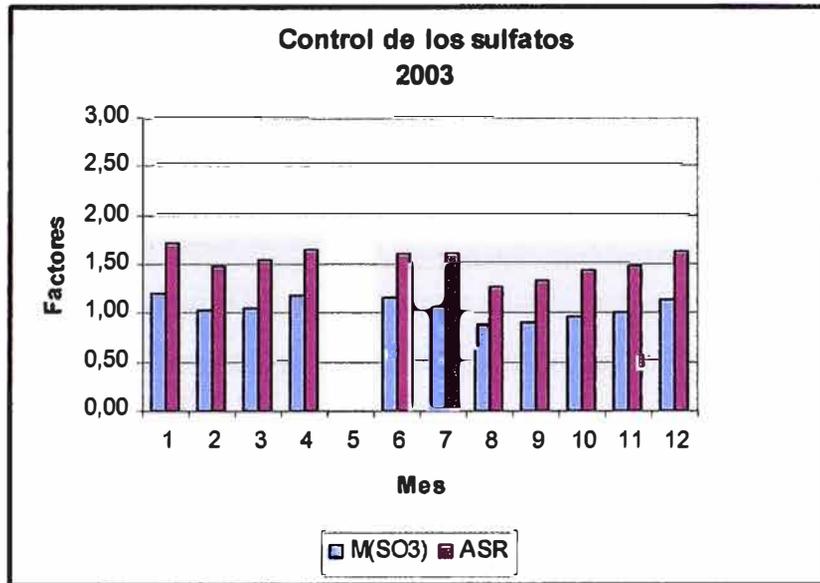


Gráfico N° 6: Control de los sulfatos 2003

Los castables colocados sin el aislantes fueron los que mejor respondieron al ataque de la silvina, los que tuvieron aislante se siguen cayendo por bloques ocasionando graves daños a la rampa de la cámara de enlace.

Para este año se realizaron pruebas con ladrillos machimbrados, de fácil colocación para el avance de la reparación, ya que no es necesario el tiempo de fragua ni la colocación de anclajes, pero como las paredes son muy amplias, se siguen cayendo por la parte central de la pared; por lo que, se le coloca a las nuevas paredes de ladrillos machimbrados una columna al centro.

También se instalaron paños con solo aislante, que en la operación del Horno se recubrieron con costra y fueron infiltrados por las sales de Silvina aumentando su densidad.

4.4.6 Año 2004

La producción anual de clínker en el horno 2 alcanzo los 394 783 TM, que representa el 22.7 % mayor respecto a lo programado en la opción C del Plan Anual de producción (321 826 TM).

El promedio anual de producción fue de 55.9 TPH vs. 49.0 TPH considerados en el plan anual de producción, obteniéndose una mejora en la productividad.

El consumo específico anual de energía alcanzado a noviembre de 2004 fue de 68.3 kwh/TM, con un factor de utilización del 80.4 %. En el plan anual de producción, se consideró un factor de utilización de 74.9 %.

En el mes de Enero, se obtuvo la más alta producción de clínker 43 809 TM en la historia del Horno 2, con una producción horaria de 59.2 TPH y un factor de utilización de 99.39 %.

El 18/02/04 para el horno a las 23:38 horas, por falta de harina cruda y se realizaron los siguientes trabajos:

- En el metro 19 desde la salida del horno se encontró roto un ladrillo Magnel RS, el cual para reemplazarlo se tuvo que cambiar en total 03 ladrillos.
- En el cono de entrada se vació 2.35 m² con Versaflow 70.

Se cambió todos los ladrillos de la rampa se puso 6.89 m² de ladrillos Kronex 70. Los ladrillos machimbrados antiácido no dieron los resultados esperados y se levantaron por la parte central.

En el intercambiador se vació en total 15.94 m² y se cambio la compuerta del aire terciario.

El 20/03/04 para el horno a las 21:30 horas para realizar trabajos de interconexión en la Subestación de Caripa y reparación de la tobera del quemador principal. Se hizo los siguientes trabajos:

Se cambio la plancha exterior de la tobera en la parte baja y cerca de la punta del quemador y se vació 3.7 m. del quemador con Versaflow 70.

En la puerta de entrada al horno se vació 0.76 m² con Versaflo 70, la columna de la puerta de ingreso del lado horno 1 se vació con Versaflo 70.

En la descarga del ciclón 6 a la cámara de enlace se vació 1.58 m² con Versaflo 70.

En el pantalón del aire terciario se vació 0.61 m² con Versaflo 70.

En el intercambiador se vació en total 8.64 m² con Versaflo 45.

El 05/05/04 se paró el horno por reparación general, porque se va a cambiar el reductor principal y el motor de accionamiento del molino de crudo 1. Se realizaron los siguientes trabajos:

- Se cambió los 38 segmentos de la boca de salida y se vació 0.8 m. con Versaflo 70.
- Desde la salida del horno en total se cambió 3.80 m con ladrillos Almag 85.
- Se cambio los 12 segmentos del cono de entrada al horno y se vació 0.70 m. con Versaflo 45.

En la Bóveda del cabezal se vació 9 m² en el lado Horno 3.

Sobre la puerta 2.2 m² con ladrillos Frisa y 0.98 m² con Sureflow 52 LC.

En el enfriador se vació 4.34 m² con Sureflow 52 LC.

Se cambiaron los ladrillos de la rampa, se colocaron 6.2 m² de ladrillos machimbrados Varnon.

La Jeta se vació con Versaflo 70.

Encima de la cámara de enlace se vació 12.72 m² con Versaflo 45.

En el aire terciario se vació 16.64 m² con Versaflo 45 y 1.15 m² con Sureflow 34 ZLC. Se cambio la compuerta del aire terciario y se vaciaron las juntas de dilatación con Sureflow 52 LC.

En el calcinador se vació 70.77 m² con Versaflo 45, se instaló 21.01 m² con ladrillos antiácido y 23.84 m² con ladrillos Varnon.

En el intercambiador se vació 9.74 m² con Versaflow 45, 3.68 m² con Versaflow 70 y 5.21 m² con Sureflow 34 ZLC.

El 10/09/04 para el horno para revisión de la tobera del quemador principal y cambio de la compuerta del aire terciario.

Se hizo vaciado por fuera con Versaflow 70.

En la cámara de enlace se encontró un hoyo en la parte central de la rampa, es probable que sea por el desprendimiento de castable del calcinador; queda como está y se verificará su avance para repararlo en otra oportunidad. El ladrillo deteriorado de la cámara es el Varmon y fue instalado en Mayo del 2004.

El 19/12/04 para el horno, por aparecer una mancha en el metro 17 desde la salida del horno; la temperatura de la chapa llegó hasta 740 °C. El horno queda parado por reparación general, cambio de virolas en el horno y volteo de la cremallera del mismo. Al entrar a inspeccionar el horno, se encuentra que en el metro 17, la plancha que está sin ladrillos es de 1.00 x 0.37 m. y los ladrillos que están al costado apenas tienen 5 cm. de altura, éstos ladrillos Magnel RS fueron instalados en Junio del 2003; también se tenía temperatura alta en el metro 20 a la altura de la 2da llanta; allí se encontró ladrillos cortados por la parte superior que puede ser debido a problemas de ovalidad del horno; algunos de éstos ladrillos tenían entre 07 a 08 cm. de altura. Entre el metro 38 y 41 justo entre la cremallera y a la altura de la 1era llanta, se encontró ladrillos partidos en su mayoría y que puede ser debido a la presión axial producido por la dilatación que excedió la resistencia del ladrillo causando el “spalling”, desconchamiento o deterioro de la capa superior del ladrillo; éstos ladrillos Alusite D, fueron instalados en Setiembre del 2003.

Se continúa realizando el seguimiento y control de los sulfatos, tanto en el material que ingresa, como en el clínker que sale del horno.

Tabla N° 9: Factores del sulfato 2004

2004	F1>1.10	F2>0.25	F3>0.30
	F1	F2	F3
	(SO ₃ clink/ SO ₃ AlimH2)	(1/ SO ₃ C6)	1.55*F1*F2
Enero	3,13	0,61	2,98
Febrero	3,37	0,58	3,04
Marzo	3,08	0,58	2,82
Abril	2,74	0,62	2,62
Mayo	2,41	0,53	1,97
Junio	2,29	0,65	2,41
Julio	2,17	0,59	2,04
Agosto	2,30	0,64	2,28
Septiembre	2,32	0,52	1,88
Octubre	2,48	0,88	3,38
Noviembre	2,44	0,71	2,71
Diciembre	2,72	0,69	2,93
Promedio	2,62	0,63	2,59

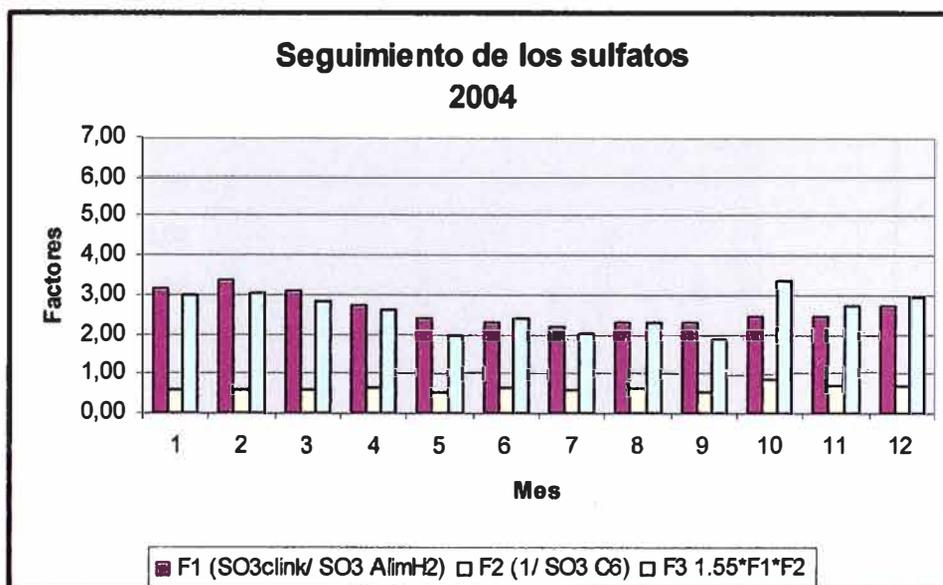


Gráfico N° 7: Seguimiento de los sulfatos 2004

Tabla N° 10: Álcalis y sulfato en el clínker 2004

2004	ALCALIS Y SULFATOS EN CLINKER					
	K ₂ O (% Peso)	Na ₂ O (% Peso)	SO ₃ (% Peso)	Álcalis totales (% Peso)	M(SO ₃) *	ASR *
Enero	0,46	0,07	0,53	0,38	1,21	1,75
Febrero	0,41	0,11	0,50	0,38	1,15	1,60
Marzo	0,32	0,07	0,42	0,28	1,33	1,82
Abril	0,45	0,08	0,43	0,37	0,99	1,43
Mayo	0,38	0,08	0,50	0,33	1,31	1,84
Junio	0,49	0,14	0,50	0,46	0,93	1,31
Julio	0,61	0,08	0,49	0,48	0,87	1,28
Agosto	0,55	0,07	0,55	0,43	1,09	1,57
Septiembre	0,42	0,06	0,57	0,34	1,50	2,13
Octubre	0,50	0,09	0,50	0,42	1,06	1,49
Noviembre	0,47	0,06	0,47	0,37	1,13	1,60
Diciembre	0,49	0,04	0,52	0,36	1,25	1,83
Promedio	0,46	0,08	0,50	0,38	1,15	1,64

(*) Ver fórmulas al final del anexo.

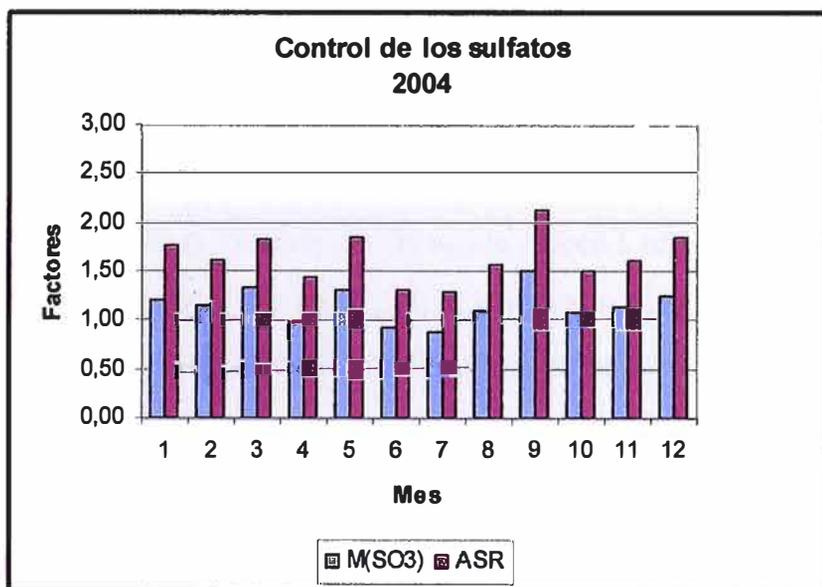


Gráfico N° 8: Control de los sulfatos 2004

Los ladrillos machimbrados colocados con una columna al centro como refuerzo respondieron al ataque de la Silvina, si bien es cierto ya nos se cayeron pero se observa en la cara caliente del ladrillo depósitos de las sales. Se incrementa la reparación de las paredes bajo este sistema y con castable sin aislante.

4.4.7 Año 2005

Los resultados de la operación del Horno 2, para el año 2005 fueron:

	Año 2005	Programado	Año 2004
Clínker (TM)	389 724	410 514	394 783
Horas trabajadas	6 837		7 065
TPH	57		56
FP (%)	91		90

El 19/12/04 paró el Horno para reparación general y se realizaron los siguientes trabajos en refractarios:

Se cambiaron todos los ladrillos del horno

- Se vació la boca de salida, 0.45 m. con Refrabauxite 85 LCC ARX
- De 0.45 al 27.65 m (27.20 m.) se colocó Ladrillos Magnel
- De 27.20 al 30.65 m. (3.00 m.) se colocó Ladrillos Almag 85
- De 30.65 al 33.65 m. (3.00 m.) se colocó Ladrillos Almag 85 L
- De 33.65 al 38.65 m. (5.00 m.) se colocó Ladrillos Alusite
- De 38.65 al 38.95 m. (0.30 m.) se colocó Ladrillos Kronex
- De 38.95 al 41.55 m. (2.60 m.) se colocó Ladrillos Alusite
- De 41.55 al 49.15 m. (7.60 m.) se colocó Ladrillos Repsa 18
- Se vació en el cono de entrada, 0.55 m. con Versaflow 45

En la cámara de enlace, se cambiaron todos los ladrillos de la rampa y se colocaron 6.45 m² de ladrillos antiácido, en las paredes se hicieron vaciados por 14.36 m² con Versaflo 45.

En la Jeta se vació con 1.82 m² de Refracorund 95 LCC ARX y debajo de la jeta se vació con 2.35 m² de Versaflo 45

En el calcinador, 6to piso del edificio nuevo, se hicieron vaciados por 11.58 m² con Versaflo 45 y 20.64 m² con Sureflow 34 ZLC. En el 5to piso del edificio nuevo se hicieron vaciados por 36.71 m² de Versaflo 45 y 18.48 m² con ladrillos antiácido. En el 4to piso del edificio nuevo se hicieron vaciados por 60.63 m² de Versaflo 45 y en la rampa de entrada al ciclón VI se colocaron 14.59 m² de ladrillo antiácido. En el 6to piso del edificio antiguo se colocaron 6.78 m² de ladrillos Varnon. En el 5to piso del edificio antiguo se colocaron 10.88 m² de ladrillos antiácido, 6.08 m² de ladrillos Varnon, 9.16 m² con Versaflo 45, 4.51 m² con Versaflo 70, 6.36 m² con Riserclean 30 y 7.57 m² con Sureflow 34 ZLC. En el 4to piso edificio antiguo se colocaron 8.77 m² de ladrillos antiácido, 7.10 m² con Versaflo 45, 3.08 m² con Riserclean 30 y 10.87 m² con Sureflow 34 ZLC. En el 3er piso del edificio antiguo se colocaron 4.66 m² de ladrillos antiácido, 1.98 m² con Versaflo 45 y 1.92 m² con Sureflow 34 ZLC.

En el intercambiador, se hicieron vaciados por 19.82 m² con Versaflo 45 en el ciclón 5 y 3.8 m² con Versaflo 45 en el ciclón 6.

El 04/10/05 se paró el horno para reparar el quemador del cabezal.

Se cambió todo el Kit del Burner Tip por encontrarse deteriorado, previamente desde hace un mes atrás, se tenía baja presión en el aire externo; pero la forma de la llama se veía muy bien y en éste quemador

no se forman las “barbillas” como en el horno 3. Se encontró el tubo de carbón y aire tangencial con hueco, el tubo de aire interno estaba muy próximo a hacerse hueco. Aprovechando esta parada, se realizaron los siguiente trabajos en refractarios: Se vació 0.55 m. lineales del cono de entrada con Versaflo 45.

Se cambiaron todos los ladrillos de la rampa de la cámara de enlace, por 6.25 m² de ladrillos rectos de 9 x 4 ½ x 2 ½ y 9 x 6 x 2 ½.

En el 3er piso de Riser Duct se vació 5.33 m² con Riserclean 30.

En el calcinador, 4to piso se colocaron 7.68 m² de ladrillos antiácido y en el 5to piso se colocaron 27.03 m² de ladrillos antiácido.

En el ciclón 6 se hicieron vaciados por 2.09 m².

Se reconstruyó la compuerta de aire terciario con Versaflo 45.

Se continúa realizando el seguimiento y control de los sulfatos, tanto en el material que ingresa, como en el clínker que sale del horno.

Tabla N° 11: Factores del sulfato 2005

2005	F1>1.10	F2>0.25	F3>0.30
	F1	F2	F3
	(SO ₃ clink/ SO ₃ AlimH2)	(1/ SO ₃ C6)	1.55*F1*F2
Enero			
Febrero			
Marzo	2,24	0,47	1,62
Abril	2,27	0,65	2,29
Mayo	2,13	0,57	1,90
Junio	2,45	0,58	2,20
Julio	3,56	0,57	3,16
Agosto	2,11	0,48	1,56
Septiembre	1,76	0,63	1,71
Octubre	1,68	0,56	1,45
Noviembre	1,83	0,63	1,79
Diciembre	2,06	0,63	2,04
Promedio	2,21	0,58	1,97

Gráfico N° 9: Seguimiento de los sulfatos 2005

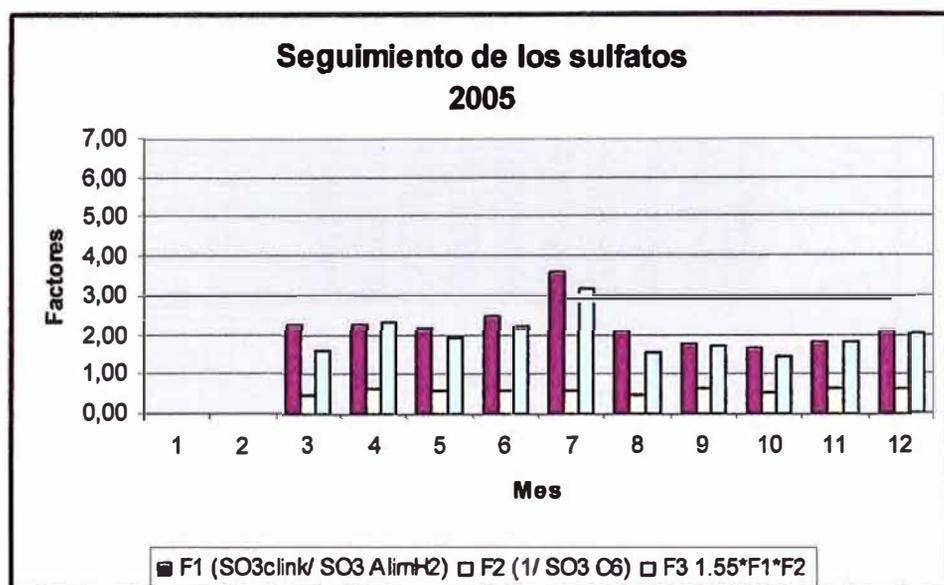


Tabla N° 12: Álcalis y sulfato en el clínker 2005

2005	ALCALIS Y SULFATOS EN CLINKER					
	K ₂ O (% Peso)	Na ₂ O (% Peso)	SO ₃ (% Peso)	Alcalis totales (% Peso)	M(SO ₃) *	ASR *
Enero						
Febrero						
Marzo	0,44	0,02	0,52	0,31	1,46	2,14
Abril	0,47	0,03	0,51	0,34	1,31	1,95
Mayo	0,47	0,03	0,47	0,34	1,13	1,76
Junio	0,44	0,02	0,50	0,31	1,39	2,03
Julio	0,46	0,04	0,57	0,34	1,47	2,13
Agosto	0,42	0,05	0,48	0,33	1,31	1,83
Septiembre	0,53	0,04	0,52	0,39	1,15	1,71
Octubre	0,58	0,02	0,56	0,41	1,19	1,77
Noviembre	0,61	0,01	0,61	0,42	1,25	1,91
Diciembre	0,57	0,01	0,61	0,40	1,27	2,02
Promedio	0,50	0,03	0,53	0,36	1,29	1,92

(*) Ver fórmulas al final del anexo.

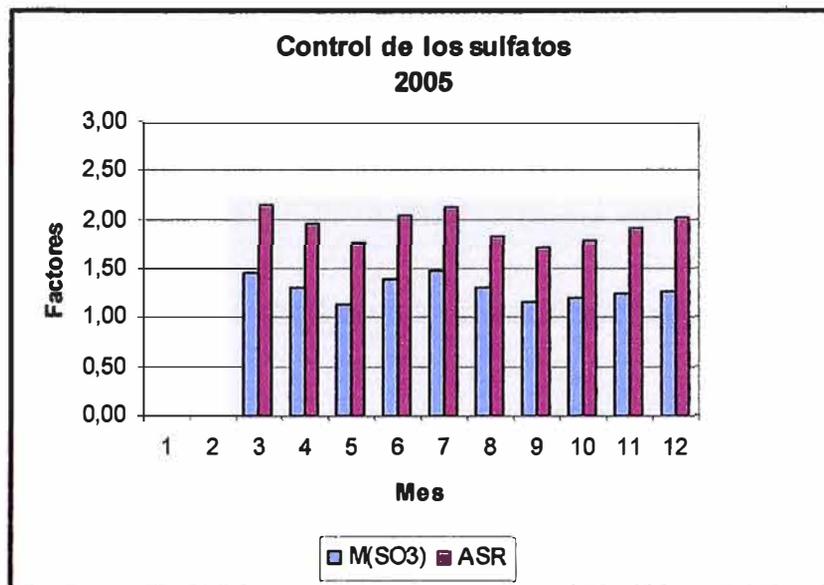


Gráfico N° 10: Control de los sulfatos 2005

Se incrementa el uso de ladrillos machimbrados con columna al centro para las reparaciones de las paredes del calcinador.

4.4.8 Año 2006

El 09/12/06 se logró superar la barrera del millón de toneladas de clínker acumulado con los dos hornos, alcanzándose la cifra de 1 002 127 TM de clínker; producción histórica alcanzada hasta esa fecha.

	Año 2006	Programado	Año 2005
Clínker (TM)	457 233	410 491	379 770
Horas trabajadas	7 734		6 670
TPH	59		57
FP (%)	94		91

Se paró el Horno para reparación general el 10/06/06 en la cual se realizaron los siguientes trabajos en el Horno:

- Se vació toda la boca de salida (0.40 m.) con castable Refrabauxite 85 LCCARX, sin cambiar las placas.
- Se colocaron 9.03 metros de ladrillos básicos Magnel RS (46 anillos) desde 0.4 hasta 9.43 m.

En el intercambiador se realizaron los siguientes trabajos:

En la cámara de enlace, se cambiaron los ladrillos de la rampa 5.80 m² con ladrillos rectos de Repsa y se vaciaron con Sureflow 34 ZLC (1.79 m²), Riserclean 30 (5.86 m²) que incluye el arco de entrada al horno, Versaflow 70 (0.43 m²).

La jeta se vació con Refracorund 95 y se cambiaron 2 placas.

En los 3 codos de descarga del ciclón 6 y el ducto después del último codo de entrada a la cámara de enlace, a manera de prueba se vació 11.62 m² con castable Didurit 150 SiC de RHI.

En los ductos de descarga del ciclón 5 (4 ductos, 2 por cada tramo) después del dividing gate, también a manera de prueba se vació 12.29 m² con castable Riser Clean 30 de Repsa. Esta prueba es para evaluar la pegadura en el ducto y su resistencia al ataque de la silvina.

En el ciclón 6, se colocaron 17.84 m² de ladrillos antiácido en la rampa de entrada al ciclón y se vaciaron 3.65 m² las columnetas con Versaflow 45. En la entrada al ciclón se hicieron vaciados con Versaflow 45 por un total de (26.33 m²). En la parte cilíndrica del ciclón se colocaron 41.61 m² de ladrillos circular y vaciados (4.07 m²) con Versaflow 45. En la parte cónica se vació 36.36 m² con Riserclean 30 / Versaflow 70 y resanes en las ventanas y tubo de inmersión por 2.85 m² de Versaflow 45.

En el ciclón 5 parches por 0.75 m² de Versaflo 45.

En el Calcinador: 6to piso Edificio nuevo se colocaron 19.6 m² de ladrillo antiácido y se vaciaron 15.29 m² con Riserclean 30. En el 5to piso Edificio nuevo se colocaron 14.15 m² de ladrillo antiácido, se vaciaron 1.31 m² con Riserclean 30 y 38.52 m² con Versaflo 45. En el 4to piso Edificio nuevo se vaciaron 37.21 m² con Versaflo 45. En el 7mo piso Edificio antiguo se colocaron 2.99 m² con ladrillos antiácido, se vaciaron 0.91 m² con Riserclean 30 y 4.03 m² con Versaflo 45. En el 6to piso Edificio antiguo se vaciaron 8.41 m² con Versaflo 45. En el 5to piso del edificio antiguo se colocaron 4.88 m² con castable Versaflo 45.

Se continúa realizando el seguimiento y control de los sulfatos, tanto en el material que ingresa, como en el clínker que sale del horno.

Tabla N° 13: Factores del sulfato 2006

2006	F1>1.10	F2>0.25	F3>0.30
	F1	F2	F3
	(SO ₃ clink/ SO ₃ AlimH2)	(1/ SO ₃ C6)	1.55*F1*F2
Enero	2,14	0,62	2,11
Febrero	2,09	0,59	1,92
Marzo	2,22	0,58	1,99
Abril	1,93	0,44	1,33
Mayo	1,79	0,51	1,47
Junio	1,76	0,51	1,39
Julio	1,71	0,59	1,58
Agosto	1,90	0,62	1,83
Septiembre	2,13	0,81	2,69
Octubre	2,17	0,60	2,00
Noviembre	2,27	0,56	1,96
Diciembre	2,78	0,82	3,62
Promedio	2,07	0,60	1,99

Gráfico N° 11: Seguimiento de los sulfatos 2006

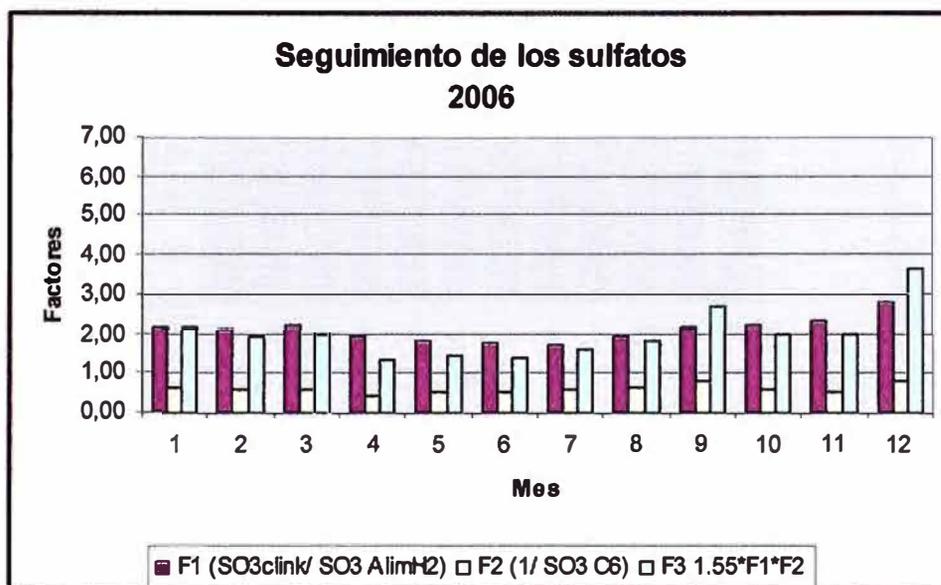


Tabla N° 14: Álcalis y sulfato en el clínker 2006

2006	ALCALIS Y SULFATOS EN CLINKER					
	K ₂ O (% Peso)	Na ₂ O (% Peso)	SO ₃ (% Peso)	Alcalis totales (% Peso)	M(SO ₃) *	ASR *
Enero	0,54	0,01	0,59	0,37	1,38	2,09
Febrero	0,45	0,01	0,54	0,30	1,58	2,32
Marzo	0,37	0,02	0,49	0,26	1,73	2,43
Abril	0,46	0,02	0,57	0,33	1,55	2,25
Mayo	0,45	0,01	0,63	0,31	1,81	2,65
Junio	0,45	0,02	0,61	0,32	1,71	2,50
Julio	0,53	0,02	0,63	0,37	1,48	2,21
Agosto	0,48	0,01	0,55	0,33	1,46	2,18
Septiembre	0,45	0,01	0,51	0,31	1,47	2,15
Octubre	0,38	0,03	0,52	0,28	1,68	2,36
Noviembre	0,45	0,04	0,50	0,34	1,29	1,86
Diciembre	0,40	0,04	0,50	0,30	1,50	2,12
Promedio	0,45	0,02	0,55	0,32	1,55	2,26

(*) Ver fórmulas al final del anexo.

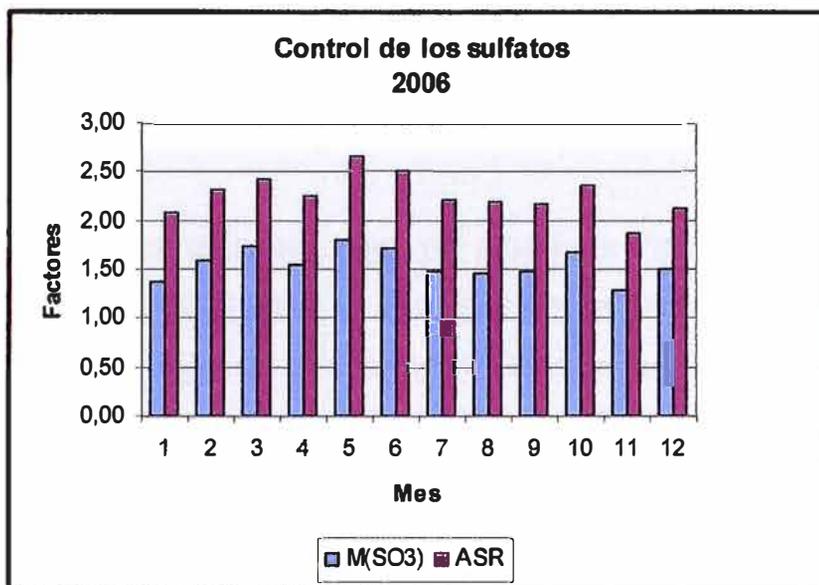


Gráfico N° 12: Control de los sulfatos 2006

Con la confirmación nuevamente de que las paredes de ladrillos machimbrados con columna al centro y los castables sin aislantes, son los que mejores resultados se han obtenido para completar la campaña de un año de operación del horno.

Asimismo se están usando castables más baratos (menos impermeables) que el Ricerclean para realizar los vaciados.

CAPITULO V

DESARROLLO DE OTRAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

“FACTIBILIDAD DE REEMPLAZO DE LOS DOS VENTILADORES DEL RAMAL WT2 HORNO 3 POR UN SOLO VENTILADOR”

Para evaluar el flujo requerido para mover 105 TPH de alimentación del horno 2 y 150 TPH en el horno 3 se realizaron las siguientes mediciones:

1. Medición del caudal de gases en los intercambiadores:

Punto de medición: Salida del intercambiador horno 2

	Unidad	Promedio
Flujo másico de gases	kg / h	140428
Caudal de gases	m ³ / h	365460
Velocidad de gases	m / s	21
Presión	mbar	62

Punto de medición: Salida del intercambiador horno 3

Salida del WT1	Unidad	Promedio
Flujo másico de gases	kg / h	143128
Caudal de gases	m ³ / h	383543
Velocidad de gases	m / s	33
Presión	mbar	57

Salida del WT2	Unidad	Promedio
Flujo másico de gases	kg / h	151037
Caudal de gases	m ³ / h	490682
Velocidad de gases	m / s	29
Presión	mbar	100

2. Capacidad Nominal de los ventiladores de tiro

Horno 2	Unidad	Nivel cero
Caudal nominal	m ³ / h	407268
Temperatura del gas	°C	320
Presión total	mbar	80
Densidad a temp. de operación	kg / m ³	0.38 a 0.41
Velocidad motor	rpm	1053
Potencia motor	kw	1365

Horno 3	Unidad	4to piso WT2	Nivel cero WT2	Nivel cero WT1
Caudal nominal	m ³ / h	402 000	402 000	324000
Temp. del gas	°C	400	400	360
Dif. presión total	mbar	41.1	41.1	55.7
Densidad a temp. de operación	kg / m ³	0.33	0.33	0.34
Velocidad motor	rpm	893	893	894
Potencia motor	kw	750	900	900

3. Mediciones de presión y temperatura en el Horno 2

Medido el: 20 y 22/10/2004

Alimentación (TPH)	110	105	100
RPM	975	945	900
Potencia (kw)	1078	990	850

		mbar	°C	mbar	°C	mbar	°C
1	Salida ciclón 1	66	317	63	315	59	329
2	Antes del vent. Nivel cero	68	314	65	312	60	328
3	Después del vent. Nivel cero	10	312	12	308	12	325
	Caída de presión ventilador (mbar)	58		54		48	

4. Mediciones de presión y temperatura en el Horno 3

Medido el: 19 y 20/10/2004

	WT1	WT2	
Alimentación (TPH) :	70	80	
Ventilador:	Nivel cero	Cuarto piso	Nivel cero
Amperaje (Amp) :	67	85	100
Potencia (kw) :	669	753	890
Potencia dato de placa (kw) :	900	750	900

		Promedio	
	WT2	mbar	°C
1	Salida gemelo 1 antes comp.	85	404
2	Antes del ventilador 4to piso	108	395
3	Después del ventilador 4to piso	65	406
	Caída de presión ventilador (mbar)	44	
4	Antes del ventilador nivel cero	63	390
5	Después del vent. nivel cero	16	359

	Caída de presión ventilador (mbar)	47	
WT1			
6	Salida gemelo 1 antes compuerta	48	344
7	Antes del ventilador nivel cero	61	360
8	Después del ventilador nivel cero	13	345
	Caída de presión ventilador (mbar)	48	

5. Mediciones de Temperatura y Presión parado el ventilador del 4to piso del WT2 – Horno 3

Alimentación (TPH)		Presión (mbar)		Temperatura (°C)	
WT1	WT2	WT1	WT2	WT1	WT2
67	63	47	57	298	346

* Medido el 12/2002, 06/2002, 07/2001.

6. Cálculos

Parámetro analizado: Efecto del cambio de diámetro en los ductos

⁽⁴⁾ De la ecuación de Geankoplis de Compressible flow calculation.

Input Data (to find outlet pressure)

Inlet pressure	psig	0.9863	= 68 mbar
Inlet density	lb/pe ³	0.01889	= 0.3026 kg/m ³
Pipe dia.	in	98.23	
Pipe length	ft	131.2	= 40 m
			= 151037 kg/h = 490000
Flow rate	lb/h	332981	m ³ /h

Viscosity	cp	0.015
Pipe roughness	mm	0.1

Output Data

Flow	lb/s/sqft	1.757524
p ₂ calc	psig	0.984598
p ₂ assumed	psig	0.984599

Simulación para diferentes diámetros: Presión de salida

67.67	Para 2.00 m D: WT1-H3
67.87	Para 2.45 m D: WT2-H3
67.88	Para 2.50 m D: WT-H2

Parámetro analizado: Presión requerida en el sistema-actual horno 3

⁽⁵⁾ En un mismo ventilador se pueden aplicar las siguientes tres leyes:

$$\text{1ra ley: } Q_2 = Q_1 \times (n_2 / n_1)$$

$$\text{2da ley: } dP_2 = dP_1 \times (n_2 / n_1)^2$$

$$\text{3ra ley: } Pot_2 = Pot_1 \times (n_2 / n_1)^3$$

Donde:

Q: Caudal

n: RPM

dP: Diferencia de presión

Pot: Potencia

Ahora por diseño los RPM máximo del ventilador del horno 2 es de 1053 RPM y además de las mediciones realizadas para una caída de presión de 58 mbar corresponde 975 RPM y 1078 kw.

Por tanto:

$$dP_2 = 58 \times (1053 / 975)^2 = 67.65 \text{ mbar máximo que puede proveer el ventilador.}$$

También después del ventilador del nivel cero se tiene una presión de 13 mbar proporcionado por los filtros de mangas; que equivale a una caída de presión de

$(75 - 13) = 62$ mbar, es decir la presión necesaria para mantener la sustentación del material en el sistema.

Ahora calculamos los RPM requerido para 62 mbar de dP

$$n_2 = (62 / 58)^{0.5} \times 975 = 1008 \text{ RPM}$$

Que corresponde a un consumo de energía de:

$$\text{Pot}_2 = 1078 \times (1008 / 975)^3 = 1191 \text{ kw}$$

Si consideramos una eficiencia de 0.9 del motor

Entonces la potencia necesaria sería de $1191 / 0.9 = 1324$ kw

Parámetro analizado:

Diámetro requerido en el nuevo ventilador

Para ventiladores semejantes o de la misma geometría:

⁽⁵⁾ Se puede aplicar la 4ta ley:

$$Q_2 = Q_1 \times (D_2 / D_1)^3$$

De la capacidad nominal del ventilador del horno 2, se tiene:

$$D_1 = 3.435 \text{ m para } Q_1 = 407268 \text{ m}^3/\text{h}$$

Reemplazando:

$$490\ 682 = 407268 \times (D_2 / 3.435)^3$$

$$\mathbf{D_2 = 3.655 \text{ m}}$$

Que equivale a 6.4 % más de incremento de diámetro.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1) **Performance de las pruebas realizadas**

De todas las pruebas realizadas, los que mejores resultados se obtuvieron en cuanto a duración hacia la campaña de operación del horno, fueron:

- Ladrillos machimbrados con columna al centro.
- Castable hasta la plancha (sin aislante).
- Aislante solo.

Los castables sin aislantes tiene la desventaja de permitir el pase de calor al ambiente, el cual no es bien aprovechado dentro del ducto para intercambiarlo con la harina cruda.

Los aislantes colocados solos, se tiene la dificultad de poder sostenerse en el tiempo, ya que por la infiltración de las sales aumenta su densidad y con la costra que se forma en la cara caliente, terminan cayéndose. Es muy útil como un secuestrador de la sales de Silvina, lo cual nos permite reducir la circulación interna de los álcalis. Perfeccionando este sistema para el sostenimiento de las planchas de aislantes y que se puedan sacar cada cierto tiempo sin parar la operación, se tendría grandes ahorros por no usar los refractarios (castables o ladrillos).

2) **Evaluar la combinación del castable solo y con aislante solo.**

La costra que se forma encima del castable tiene propiedades aislantes, lo cual reduce la pérdida de calor al ambiente.

Desde la última reparación general del Horno 2 en marzo 2007 se ha incrementado las pruebas con vaciado de castable sin aislante.

Una combinación sería colocar castable hasta la plancha en la zona donde se suelda el anclaje y donde va el aislante se rellena el espesor con castable.

Sería una mejora al sistema castable con aislante, solo que donde va el anclaje se vacía el castable hasta la plancha; así, los anclajes no van a ser fácilmente atacados por las sales silvina.

También sería una mejora al sistema aislante solo ya que tiene un mejor sostenimiento del aislante y se reduciría la pérdida de calor.

3) Cambio de sección en el ducto del intercambiador.

Un ducto circular le da mas estabilidad a la pared que un ducto cuadrado, la experiencia lo demuestra en el calcinador del horno 3 que es de sección circular y a pesar del ataque de los álcalis de cloruros y sulfatos, nunca se han tenido desprendimiento de material refractario en la pared.

En la zona del ducto de ascenso y descenso del calcinador se tiene el espacio necesario para cambiar la sección cuadrada a circular del tubo, la pérdida de área es de 0.3 m^2 que se compensa con la costra formada en las esquinas de la sección cuadrada.

4) Instalación del sistema de By pass.

A diferencia que los sulfatos alcalinos que no se evaporan tan fácilmente, los cloruros alcalinos se evaporan con mucha facilidad.

Según investigaciones realizadas, se requiere la instalación de un by pass, cuando el ingreso de cloro a través de la materia prima o del combustible supera el 0.015 % en peso de la harina cruda. Se debe cuidar que la concentración de cloro en la materia prima al entrar al horno, no debe superar el 1 o 2 % del peso, mayores concentraciones producen sales minerales y Espurrita en los ciclones inferiores.

Según investigaciones realizadas, la operación de un by pass siempre origina una pérdida de calor equivalente de 5 a 7 kcal/kg de clínker, por cada ciento de participación del by pass.

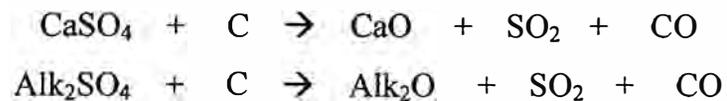
Fracciones de by pass por encima del 20 % solamente es factible en caso de hornos con sistema de precalcinación mediante aire terciario.

La experiencia con equipos de producción muestra que la instalación de un sistema de by pass se justifica cuando el ingreso de cloro es superior a más o menos 0.2 g de cloro/ kg de clínker.

Los niveles de cloro total en el Horno 2, no exceden los límites 0.010 0.015 % en peso. Por lo tanto, la solución del problema de solidificación de Silvina en el sistema de intercambiadores, no estaría en el uso de un sistema by-pass para separar parte de los gases del horno.

Atmósferas oxidantes en el horno, también ayudan al arrastre de los sulfatos en el clínker que sale por el horno, reduciendo la circulación interna del azufre. El cambio de quemador en el cabezal el horno por uno de Greco, ayuda a una mejor quema del combustible, minimizando las zonas reductoras.

Una atmósfera reductora por deficiencia de oxígeno, por la combustión incompleta del combustible o por la presencia de carbón libre en la carga, dan origen a las siguientes ecuaciones:



Incrementando significativamente la circulación interna del azufre por descomposición de CaSO_4 , que se relativamente estable, así como los álcalis de sulfatos.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFIA

1. RIZOPATRÓN R.; SOTOMAYOR J. “Modernización y Ampliación de la línea de producción del Horno 2 de Cemento Andino S. A.”. V Coloquio de Directores y Técnicos de fábricas de cemento. Del 25 al 27/02/2003. Sevilla – España.
2. FLS INSTITUTE. “Proceso y operación de los sistemas de hornos”. Mezclas de materias primas y sus características. ASOCEM. 2002. Lima. Pag. 17-24, 31-35, 37.
3. BARTHA P.; SÖDJE J. “Degradation of Refractories in Cement Rotary kiln fired with Waste Fuels”. CN Refractories Volume 5. 2001.
4. GEANKOPLIS. “Compressible flow calculation”. p 113, equation 2.11-10
5. SALVADOR ESCODA S. A. “Manual Práctico de Ventilación”. Barcelona. p. 9-10.
6. ORDOÑEZ H. “El proceso de cocción de clínker y su influencia en los materiales refractarios”. Refratechnik. Göttingen, Setiembre 2005.
7. LABAHN O.; KOHLHAAS B. “Cement Engineers’ handbook”. Fourth English Edition. 1983. Berlin. Pag. 120.
8. DUDA W.; SARABIA A. “Manual tecnológico del cemento”. Editores Asociados S. A. 1977. Barcelona. Pag. 245-246.

CAPÍTULO VIII

ANEXOS

TABLA 1
(6) Composición química característica de materias primas para cemento y mezcla “cruda”

	CALIZA	MARGA	ARCILLA	ARENA	MEZCLA CRUDA
	Masa %				
Pérdida de fuego	40-44	2-42	1-20	hasta 5	32-36
SiO ₂	0,5-3	3-50	37-78	80-99	12-16
Al ₂ O ₃ +TiO ₂	0,1-1	1-20	7-30	0,5-3	2-5
Fe ₂ O ₃ +Mn ₂ O ₃	0,1-0,5	0,5-10	2-15	0,5-2	Hasta 2
CaO	52-55	5-52	0,5-25	0,1-3	40-45
MgO	0,5-5	0,5-5	Hasta 5	Hasta 0,5	0,3-3
SO ₃	Hasta 0,1	0,1-4	Hasta 3	Hasta 0,5	Hasta 1,2
K ₂ O	Hasta 0,3	Hasta 3,5	0,5-5	Hasta 1	0,2-1,4
Na ₂ O	Hasta 0,1	Hasta 0,2	0,1-0,3	Hasta 0,5	Hasta 0,3
Cl ⁻					0,01-0,1
F ⁻					0,02-0,07

TABLA 2
(6) Elementos minoritarios y trazas presentes en materias primas para cemento y mezcla “cruda”

ELEMENTO	MINERALES ARCILLOSOS	CALIZA Y MARGA	MEZCLA CRUDA (RELACIÓN DE MEZCLA 25/75)
	ppm (10 ⁻⁴ masa %)		
V	98-170	10-80	32-102
Zn	59-115	22-24	31-47
Cr	90-109	1,2-16	23-39
Ni	67-71	1,5-7,5	18-23
Pb	13-22	0,4-13	4-15
As	13-23	0,2-12	3-15
Cd	0,016-0,3	0,035-,1	0,04-0,15
Tl	0,7-1,6	0,05-0,5	0,21-0,78
Cl	15-450	50-240	40-290
F	300-990	100-940	300-950
Br	1-58	5,9	4,7-18,9
I	0,2-2,2	0,25-0,75	0,24-1,1

TABLA 3

(6) Elementos Minoritarios y trazas en aceite pesado y petróleo crudo

COMPUESTO	ACEITE PESADO	PETRÓLEO CRUDO
	ppm (10^{-4} masa %)	
ceniza	100-1000	10-500
Álcalis (K_2O+Na_2O)	25-153	3-55
Cl	<10-1100	-
F	10-20	-
I	-	0,05-0,8
Zn	5-85	-
Cr	2-4	-
Ni	5-43	<0,01-8
Pb	1-34	-
As	<0,01-0,1	0,005-0,14
Cd	0,02-0,4	-
Tl	<0,02-0,12	-
V	2-117	<0,01-240

TABLA 4

(6) Composición Química de cenizas de carbón

COMPUESTO	ANTRACITA			LIGNITO
	USA	Inglaterra	Alemania	Alemania
	masa %			
SiO_2	20-60	25-50	25-45	8-18
Al_2O_3	10-35	20-40	15-21	4-9
TiO_2	0,5-2,5	0-3	-	-
Fe_2O_3	5-35	0-30	10-45	2-6
CaO	1-20	1-10	2-4	25-40
MgO	0,3-4	0,5-5	0,5-1	0,5-6
K_2O+Na_2O	1-4	1-6	1-5	0,6-3
SO_2	0,1-12	1-12	4-10	0-50

TABLA 5

(7) Sumario de transformaciones químicas durante el proceso de cocción de la mezcla cruda para cemento

TEMPERATURA °C	PROCESO	CAMBIO QUÍMICO
< 200	secado	ninguno
100-400	Deshidratación	ninguno
400-750	Descomposición de minerales arcillosos con formación de metacaolinita	$Al_4(OH)_8Si_4O_{10} \rightarrow 2(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) + 4H_2O$
600-900	Descomposición de metacaolinita y otros compuestos con formación de mezclas de óxidos reactivas	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2$
600-1000	Descomposición de calcita. Formación de CS y CA	$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ $3CaO + 2SiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow 2(CaO \cdot SiO_2) + CaO \cdot Al_2O_3$
800-1300	Incorporación de CaO a CS y CA, formación de C ₄ AF	$CS + C \rightarrow C_2S$ $2C + S \rightarrow C_2S$ $CA + 2C \rightarrow C_3A$ $CA + 3C + F \rightarrow C_4AF$
1250-1450	Incorporación adicional de CaO a C ₂ S	$C_2S + C \rightarrow C_3S$

Módulo del Sulfato:

M(SO₃) = [SO₃/Alk]

$$[SO_3/Alk]_{optimo} = \left[\frac{SO_3/80}{K_2O/94 + 0.5Na_2O/62 - Cl/71} \right]$$

Relación Álcali Sulfato (ASR):

$$ASR = SO_3 / (Na_2O + 0.5K_2O)$$