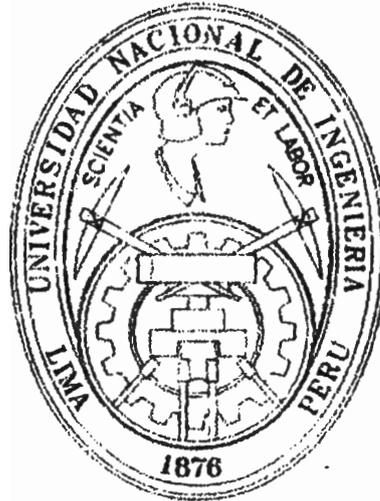


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA**



**“REEMPLAZO DEL CARBÓN BITUMINOSO (CARBÓN
IMPORTADO) POR CARBÓN SUBBITUMINOSO (CARBÓN
NACIONAL) EN LOS HORNO DE CEMENTO”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE
CONOCIMIENTOS**

PRESENTADO POR:

JOEL WILLIAM ROMERO MACHA

LIMA – PERÚ

2003

DEDICATORIA: A mis Padres Alejandro y Nery por sus sabios consejos, a mis hermanos Ricardo y Rocío por brindarme un estímulo permanente.

AGRADECIMIENTO

A mi casa de estudios por brindarme las herramientas necesarias para mi formación profesional, a mis profesores por sus orientaciones, por compartir sus experiencias y por una buena amistad.

A la Empresa Cemento Andino S.A. por brindarme sus instalaciones y permitirme desarrollarme profesionalmente.

RESUMEN

La Industria Cementera en el Perú en su afán de contribuir con el desarrollo del país viene realizando continuamente mejoras en sus procesos productivos, principalmente en el uso adecuado de las energías alternativas.

En principio, casi todos los combustibles se pueden usar para la combustión de hornos rotatorios, que constituyen la principal fuente de energía necesaria para la transformación de la materia prima en cemento, representando aproximadamente el 25% del costo de manufactura en la elaboración de clínker, principal componente del cemento.

Por tanto pretendemos realizar una optimización por reducción de costos en el uso de combustibles, que nos lleva a plantear el uso de carbón nacional del tipo sub bituminoso, explotado en las minas de Oyón, ubicado en el Departamento de Lima, en reemplazo del carbón importado del tipo bituminoso de procedencia Colombiana.

El Carbón Nacional de bajo poder calorífico, alto contenido de cenizas y bajo contenido de volátiles, en comparación con el Carbón Importado de alto poder calorífico, bajo contenido de cenizas y altos volátiles, nos lleva a realizar modificaciones en los crudos de alimentación así como replantear las condiciones de operación, para mantener la estabilidad requerida del horno rotatorio. Sin embargo el bajo costo por TM de Carbón Nacional en comparación con la TM de carbón importado hace interesante este estudio.

Es necesario entonces hacer un análisis comparativo del carbón a utilizar, realizar un balance de materia y energía para luego realizar un análisis de costo beneficio.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1-1. Objetivos generales y específicos

2. ANÁLISIS DEL PRODUCTO

2-1. Antecedentes.

2-2. Definición del producto

2-3. Empresas y tipos de cementos producidos en el Perú.

2-4. Ubicación geográfica de la Empresa Cemento Andino S.A.

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES EN LOS HORNOS DE CEMENTO.

3-1. Generalidades.

3-2. Clasificación y características de los combustibles.

3-3. Combustibles sólidos

3-3-1. Análisis Físico Químico del Carbón Importado y Nacional.

3-3-2. Ventajas y desventajas con el uso de Carbón Nacional.

4. INGENIERÍA DEL PROYECTO

4-1. Descripción del proceso.

4-2. Descripción de equipos.

4-3. Parte experimental

4-3-1. Determinación del factor clínker/crudo en un horno tipo SLC.

4-3-2. Diseño de mezcla de la materia prima.

4-3-3. Análisis de los módulos de control: Saturación, módulo de sílice y módulo de alúmina.

4-4 Balance de Materia y Energía.

4-4-1. Por el uso de Carbón Importado.

4-4-2. Por el uso de Carbón Nacional.

5. BENEFICIOS TÉCNICOS DEL ESTUDIO

5-1 Ahorro en materias primas por el uso de Carbón Nacional.

5-2 Ahorro económico en combustible por el uso de Carbón Nacional.

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA.

6-1. Evaluación del Costo de Manufactura.

6-1-1. Por el uso de Carbón Importado.

6-1-2. Por el uso de Carbón Nacional.

6-2. Estados financieros proyectados.

6-2-1. Por el uso de Carbón Importado.

6-2-1-1. Precio de materia prima y producto.

6-2-1-2. Programa de requerimientos y producción.

6-2-1-3. Valor de ventas.

6-2-1-4. Costo de producción.

6-2-1-5. Capital de trabajo.

6-2-1-6. Estado de ganancias y pérdidas.

6-2-1-7. Flujo de caja proyectado.

6-2-1-8. Criterios de evaluación de inversiones.

6-2-2. Por el uso de Carbón Nacional.

6-2-2-1. Precio de materia prima y producto.

6-2-2-2. Programa de requerimientos y producción.

6-2-2-3. Valor de ventas.

6-2-2-4. Costo de producción.

6-2-2-5. Capital de trabajo.

6-2-2-6. Estado de ganancias y pérdidas.

6-2-2-7. Flujo de caja proyectado.

6-2-2-8. Criterios de evaluación de inversiones.

6-3. Evaluación de alternativas e inversiones.

6-3-1. Evaluación de alternativas.

6-3-2. Comparación de los criterios de evaluación de inversiones.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8. BIBLIOGRAFÍA.

9. ANEXOS.

Anexo 1: Plano de Ubicación de la Empresa Cemento Andino S.A.

Anexo 2: Zonas y reacciones químicas ocurridas en el horno en la formación del clínker.

Anexo 3: Producción del clínker.

Anexo 4: Abreviaturas

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de una economía globalizada, la competitividad exige ser más eficientes, optimizando los procesos ya sea mejorando la calidad del producto o reduciendo los costos de producción, para de esta manera ofrecer un producto de calidad y un precio razonable, tratando siempre de preservar el medio ambiente.

En ese sentido, las Industrias del Cemento en el Perú vienen optimizando sus procesos continuamente de acuerdo al avance tecnológico, con inversiones desde el año 1960 hasta la actualidad; es así que la Empresa Cemento Andino S.A. permanentemente preocupada por la mejora de sus procesos viene realizando inversiones como: Construcción de su propia planta de molienda de carbón, ampliación de su central hidroeléctrica de 10 a 20 Megavatios, reconversión total de sus electrofiltros por filtros de mangas, instalación de una línea ferroviaria, entre otros proyectos.

En este caso específico se estudiará la reducción de costos por el cambio de combustible y las corridas experimentales se desarrollaron en la Empresa Cemento Andino S.A., que está ubicada en la sierra central sobre los 3850 msnm, en el distrito de la Unión Leticia, provincia de Tarma, Departamento de Junín.

Se enfoca el presente estudio evaluando las condiciones técnicas de operación, así como el cumplimiento de los objetivos generales y específicos.

1-1. Objetivos generales y específicos.

Objetivos generales

- Reemplazar el uso de carbón importado por carbón nacional en la elaboración de clínker de cemento.
- Analizar la factibilidad de la quema de carbón nacional.

Objetivos Específicos

- Diseñar el crudo adecuado para la elaboración de clínker según el tipo de combustible a utilizar.
- Cuantificar las mejoras económicas por el reemplazo del carbón importado por el carbón nacional, debido a que esto significa un menor consumo de materia prima y un menor costo del carbón nacional.

2. ANÁLISIS DEL PRODUCTO

2-1. Antecedentes

La industria del cemento ha incorporado de manera oportuna los nuevos avances tecnológicos, inicialmente en la década de los 60, la tecnología lleva a los silos de homogenización continua y a las plantas al proceso seco. También se incorporó el sistema de precalentamiento (Intercambiador de calor) del crudo previo a su ingreso al horno aprovechando los gases productos de la combustión. En este mismo período se introducen los equipos de gran capacidad, como el horno de 1'000,000 de TM/año. En los años ochenta se inicia la sustitución del petróleo por el carbón como combustible.

En la actualidad, las ampliaciones en curso han producido nuevas capacidades, como hornos de 2'000,000 de TM/año, nuevos sistemas de molturación de reciente tecnología y además los clasificadores de partículas de alta eficiencia.

La industria del cemento ha seguido desde sus inicios las normas ASTM (American Society for Testing and Materials). Actualmente se encuentran normalizados todos los tipos de cemento de producción nacional y los ensayos requeridos para el control y análisis del producto.

2-2. Definición del producto.

Cemento: Es un producto artificial, que se obtiene de la transformación de la caliza, óxido de fierro y arcilla. Esta materia prima finamente molida y homogenizada, es llevada a altas temperaturas, a través de un horno, donde se obtiene un producto intermedio denominado clínker, el cual al molerse finamente con alrededor de 5% de yeso, produce el cemento.

Cemento Portland: Un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clínker, compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio, como una adición durante la molienda.

2-3. Empresas y tipos de cementos producidos en el Perú.

La industria peruana de cemento inicia su actividad productiva en 1924 con la puesta en marcha de la planta de Maravillas, propiedad de la Compañía Peruana de Cemento Pórtland, que explota los yacimientos de Atocongo. En esta década se inicia el uso extensivo del concreto en la ciudad de Lima, en pavimentos y edificaciones.

Posteriormente se incorporan al mercado otras empresas descentralizadas: Cementos Pacasmayo S.A. en 1957, Cemento Andino S.A. ubicado en la provincia de Tarma en 1958, posteriormente Cemento Sur S.A. en la localidad de Juliaca en 1963, Cementos Yura S.A. en Arequipa en 1966.

La capacidad instalada de cemento en el Perú se distribuye como se muestra en el cuadro N° 1.

Cuadro N° 1: Capacidad instalada de las plantas de cementos en el Perú.

| Empresas | TM / Año |
|-------------------------------|----------|
| Cementos Lima S.A. | 3500000 |
| Cementos Norte Pacasmayo S.A. | 1184000 |
| Cemento Andino S.A. | 1100000 |
| Yura S.A. | 600000 |
| Cementos Selva S.A. | 70000 |
| Cementos Sur S.A. | 216000 |
| Total | 6391000 |

Debido a las ampliaciones se prevé que la capacidad instalada en el año 2002 excederá los 8'000,000 de TM/Año. En el Perú el consumo per cápita es de 131 kg por habitante. En Latinoamérica ocupa el sexto lugar, después de Brasil, Chile, Argentina, Ecuador y Venezuela.

La Industria Cementera en el Perú produce los tipos de cemento que son requeridos en el mercado nacional, según las características de los diferentes procesos, que comprende la construcción de la infraestructura necesaria para el

desarrollo, la edificación y las obras de urbanización, que llevan a una mejor calidad de vida.

Los diferentes tipos de cemento que se encuentran en el mercado cumplen estrictamente con las normas nacionales e internacionales.

En el cuadro N° 2 se presenta los tipos de cemento producido en el Perú.

Cuadro N° 2: Tipos de cemento producidos en el Perú.

| Empresas | Cemento Pórtland | | | Cemento Portland Adicionados | | Albañilería |
|-------------------------|------------------|----|---|------------------------------|----|-------------|
| | Tipos | | | Tipos | | |
| | I | II | V | IPM | IP | |
| Cemento Andino | x | x | x | x | | |
| Cementos Lima | x | x | | | x | |
| Cemento Norte Pacasmayo | x | x | x | | x | |
| Cementos Sur | x | x | x | x | x | |
| Cementos Selva | x | x | x | | x | |
| Cementos Yura | x | x | x | x | x | x |

Fuente: www.asocem.org.pe/mercado_de_cemento.htm

2-4. Ubicación geográfica de la Empresa Cemento Andino S.A.

La fábrica está localizada en la Sierra Central del Perú, en el centro poblado de Condorcocha, Distrito de La Unión - Leticia, Provincia de Tarma, Departamento de Junín, a una altitud promedio de 3850 msnm y a 220 km al este de la ciudad de Lima.

Geográficamente obedece a las siguientes coordenadas:

Latitud 11° 22.28' Sur. Longitud 75° 47.06' Oeste.

El acceso se realiza a través de la carretera central, que une Lima con la Sierra. Siguiendo esta vía y pasando por la ciudad de La Oroya hacia la zona de Caripa, se toma el camino carrozable, que va bordeando un cerro hasta llegar a la fábrica de Cemento, en aproximadamente 4 horas y media de Lima hacia Cemento Andino.

El plano de ubicación se muestra en el anexo N° 1.

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES EN LOS HORNOS DE CEMENTO

3-1. Generalidades

Los combustibles son sustancias que tienen la propiedad de arder, aunque existen numerosos productos que tienen esta propiedad, los combustibles son mezclas o combinaciones de muy pocos elementos, de los cuales los más importantes son el carbono y el hidrógeno.

En la actualidad se usa una amplia variedad de combustibles para fabricar cemento como: carbón, antracita, lignito, coque de petróleo, aceite combustible pesado, petróleo crudo y gas natural, sin embargo las grandes unidades buscan combustibles baratos y que se puedan obtener en cantidades importantes y en forma homogénea. Los combustibles mas usados son el carbón y el petróleo residual.

3-2. Clasificación y características de los Combustibles.



- Maderas
- Turbas
- Antracita
- Bituminoso
- Lignito

- Coques
- Briquetas
- Carbón-vegetal

- Gas óleo
- Fuel oil

- Propano
- Butano
- Residuales

Combustibles líquidos:

Gas óleo y fuel oil: Obtenidos de la destilación del petróleo o como residuos de este proceso.

- **Residuales:** Se obtienen en algunos procesos industriales, como la fabricación de papel, realizándose su combustión en hogares especiales en la propia fábrica.

Combustibles gaseosos:

- **Gas Natural:** Se encuentran en yacimientos similares a los del petróleo, al que acompaña frecuentemente. Su componente principal es el metano, formando una mezcla con el etano, propano y butano además de otros compuestos. Las proporciones de cada componente son muy variables.
- **Gases licuados del petróleo (GLP):** Se obtienen en las operaciones de refinado del petróleo. El propano debido a su mayor presión, se emplea principalmente en la industria.

3-3. Combustibles sólidos

- **Maderas:** La madera no presenta un gran interés en la industria como combustible. Sin embargo si se la calienta en ausencia de aire, se obtiene el carbón de madera, utilizado como absorbente en la industria química y como reductor en la metalurgia.
- **Turbas:** Son masas fibrosas de materia vegetal parcialmente descompuesta, que se ha acumulado en lugares inundados de agua. Generalmente se utiliza localmente como combustible pobre. Su composición es de 92.12% de materia orgánica, 7.88% de ceniza y 0.85% de nitrógeno.
- **Antracita:** Es el carbón más duro y denso, tiene un contenido de calor elevado. El % de carbono en promedio varía de 86% a 98%.
- **Bituminoso:** Son los carbones que presentan un mayor interés, tanto como portadores de energía como materia prima en la industria química y metalúrgica. Existen numerosas clasificaciones de los bituminosos, motivado por los amplios límites que se mueven sus características. En su composición el % de carbono varía de de 45 a 80% aproximadamente.

- **Lignitos:** Bajo esta denominación se engloban muy diversos tipos de carbones, aunque suelen agruparse en dos categorías: lignitos pardos y lignitos negros. Suelen consumirse en centrales térmicas situadas a bocamina. En su composición el % de carbono es menor a 45% aproximadamente.
- **Sólidos artificiales:** Se obtienen fundamentalmente al someter a un combustible sólido a la acción del calor sin contacto con el aire. Se quemán en casos muy específicos y normalmente ayudando como reductores al proceso. Exclusivamente como combustibles se utilizan cuando son subproductos en la fabricación de gas.

Coque: Residuo duro y poroso que resulta después de la destilación destructiva del carbón; tiene un color gris negruzco y un brillo metálico. Contiene fundamentalmente carbono, alrededor del 92%, casi el 8% restante es ceniza, el valor calorífico del coque es muy elevado.

Para el caso especial de los carbones, se muestra en el Cuadro N° 3, la clasificación según la norma ASTM D388-1999.

3-3-1. Análisis físico – químico del Carbón Importado y Nacional

Los análisis corresponden a:

Carbón Importado: Carbón Bituminoso

Carbón Nacional: Carbón Sub Bituminoso.

Los resultados de los análisis se presentan en el cuadro N° 4.

3-3-2. Ventajas y Desventajas con el uso de Carbón Nacional

Ventajas:

- En la fabricación de clínker, el contenido de cenizas se incorpora a la materia prima en reemplazo de la arcilla.
- El costo por TM de Carbón Nacional es menor en comparación con el Carbón Importado.

- El Carbón Nacional es más fácil de moler en comparación con el Carbón Importado, por ende el carbón Nacional se puede clasificar como un Sub Bituminoso tipo B según la ASTM D388.

Desventajas:

- Para compensar el bajo poder calorífico del Carbón Nacional se debe incrementar el flujo de combustible.
- El bajo contenido de volátiles en el carbón Nacional hace más difícil el quemado.

Cuadro N° 3: Clasificación de carbones por categoría.

| Clase | Grupo | Carbón fijo % base seca | | Materia volátil % base seca | | Poder calorífico base húmeda Kcal / kg | |
|---------------|----------------------------|----------------------------|-----------|--------------------------------|----------------------|--|-----------|
| | | Igual o mayor que | Menor que | Mayor que | Igual o menor que | Igual o mayor que | Menor que |
| Antracita | Metaantracita | 98 | | | 2 | | |
| | Antracita | 92 | 98 | 2 | 8 | | |
| | Semiantracita | 86 | 92 | 8 | 14 | | |
| Bituminoso | De volatilidad baja | 78 | 86 | 14 | 22 | | |
| | De volatilidad media | 69 | 78 | 22 | 31 | | |
| | Tipo A de alta volatilidad | | 69 | 31 | | 7780 | |
| | Tipo B de alta volatilidad | | | | | 7200 | 7780 |
| | Tipo C de alta volatilidad | | | | | 6100 | 7200 |
| Subbituminosa | Tipo A | | | | | 6100 | 7200 |
| | Tipo B | | | | | 5270 | 6100 |
| | Tipo C | | | | | 4600 | 5270 |
| Lignítica | Lignito A | | | | | 3500 | 4600 |
| | Lignito B Carbón Pardo | | | | | | 3500 |

A
U
M
E
N
T
A

L
A

D
U
R
E
Z
A

A
D
U
E
M
E
Q
U
I
T
E
M
A
L
D
O

F
A
C
I
L
I
D
A
D

Fuente: Annual book of ASTM Standards D 388-1999

Cruadro N° 4: Análisis físico-químico del carbón importado y carbón nacional.

| | Unidades | Carbón Importado | Carbón Nacional |
|--------------------------------|-----------|------------------|-----------------|
| Ensayos | | Base seca | Base seca |
| Análisis Inmediato | | | |
| Humedad | % | 0.83 | 0.76 |
| Materia Volátil | % | 30.61 | 16.54 |
| Cenizas | % | 12.24 | 35.80 |
| Carbón Fijo | % | 56.35 | 45.63 |
| Asufre | % | 0.78 | 1.12 |
| Poder Calorífico | | | |
| P.C. Inferior | kcal / kg | 7100 | 4,950 |
| P.C. Superior | kcal / kg | 7280 | 5,150 |
| Análisis Granulométrico | | | |
| Retenido 90 micras | % | 10.2 | 1.3 |
| Retenido 45 micras | % | 34.7 | 13.3 |
| Análisis de Cenizas | | | |
| SiO ₂ | % | 50.76 | 54.26 |
| Al ₂ O ₃ | % | 18.91 | 34.18 |
| Fe ₂ O ₃ | % | 7.32 | 3.34 |
| CaO | % | 16.09 | 3.56 |
| MgO | % | 3.15 | 1.70 |
| SO ₃ | % | 1.80 | 1.20 |
| Na ₂ O | % | 0.51 | 0.45 |
| K ₂ O | % | 1.45 | 1.31 |

4. INGENIERÍA DEL PROYECTO.

4-1. Descripción del proceso.

A. Recepción de la materia prima:

Las materias primas como Calizas, Oxidos de fierro y Arcillas provienen de las canteras de la Empresa y son mezcladas de acuerdo a las características y especificaciones del tipo de clínker a producir.

B. Pre molienda:

La materia prima es transportada hacia la trituradora de martillos, donde se realiza la molienda del crudo, luego por medio de un ventilador de tiro este material es elevado hacia un separador estático tipo ciclón.

C. Molienda de crudo:

El separador estático tiene por finalidad separar el material fino del grueso, el material grueso se conduce hacia el molino y el producto reingresa al separador estático formándose un circuito cerrado.

D. Recuperación del crudo:

El material fino proveniente del separador ingresa a los ciclones produciéndose la primera etapa de recuperación. Las partículas finas provenientes de los ciclones ingresan hacia una olla de distribución donde se compartirán hacia los filtros de mangas produciéndose la segunda etapa de recuperación, el crudo recuperado en los ciclones y filtros de mangas es transportado hacia el silo de homogeneización, este material es conocido como harina cruda.

E. Pre calcinación:

La harina cruda es alimentada en los primeros ciclones del intercambiador de calor, donde los gases calientes provenientes del calcinador y el horno son aprovechados para descarbonatar parcialmente la harina cruda.

F. Clinkerización:

El material pre calcinado ingresa al horno rotatorio, donde ocurrirá la sinterización y clinkerización a 1450°C aproximadamente, el clínker sale aproximadamente del horno a 1000 °C e ingresará al enfriador – recuperador.

G. Enfriamiento:

El clínker es enfriado por medio de ventiladores, el aire caliente que se origina se aprovecha como aire de combustión.

El clínker sale del enfriador recuperador con una temperatura promedio de 455 °C, luego es transportado al G-cooler donde es enfriado por segunda vez por ventiladores de tiro con una temperatura promedio de salida de 200°C, para finalmente ser transportado hacia la torre de enfriamiento para depositarse en la cancha de clínker.

H. Molienda de cemento:

Luego de enfriarse el clínker a temperatura ambiente ingresa a una prensa de rodillos donde es triturado, para luego ingresar a los molinos de cemento, este clínker molido se le adicionarle el 5 % de yeso aproximadamente para finalmente obtener el cemento. Es en esta etapa donde se realiza el control de calidad: Blaine (superficie específica), retenido malla en 90 micras (granulometría), Pruebas físicas de resistencia a la compresión de 3, 7, 28 días y el tiempo de fraguado.

I. Envasado:

El cemento es despachado a granel y/o en bolsas de papel de 42.50 kg listo para su comercialización.

4-2. Descripción de equipos.**A. Trituradora (Chancadora de martillos de impacto)**

La chancadora de martillos de impacto se utiliza como etapa de trituración primaria en las plantas de molienda.

Según las propiedades del material terminado, la chancadora de martillos de impacto puede utilizarse en la zona de trituración de mineral mediano a mineral fino. Para un rendimiento de paso óptimo es que el material fluya constantemente y que haya una cantidad de aire suficiente para arrastrar el producto final.

Su misión es disgregar la materia prima proveniente del triturador primario, aligerando así al molino de crudo conectado a continuación. Juntamente con la

materia prima se conduce gas caliente, la chancadora de martillos de impacto, tiene lugar también el secado del material.

La materia prima presecada y los gases de combustión entran juntos a la chancadora de martillos de impacto, el cual trabaja a una velocidad de rotación de 40 m/s.

La trituración de materia prima cuyo tamaño puede ser en la alimentación de hasta unos 100 mm, se realiza en el equipo de la figura N° 1. La granulometría de 0 a 10 mm aproximadamente se descarga con la corriente de aire en el separador estático. El material aún no suficientemente fino, continúa triturándose volviendo a circular por el molino de martillos de impacto.

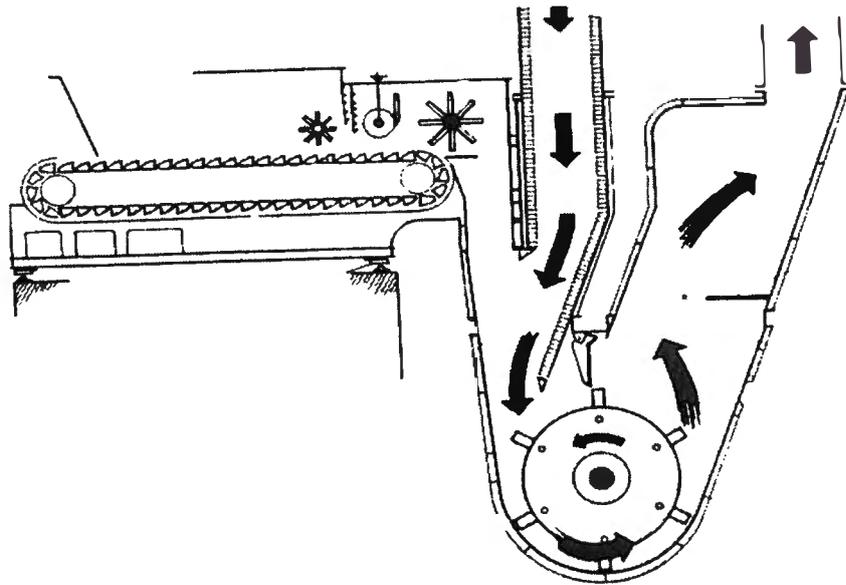


Figura N° 1: Chancadora de martillos de impacto.

B. Molino de bolas.

Los molinos de bolas con una relación de longitud a diámetro de 2:1, y una capacidad de molienda de 160 TPH, donde se realiza el desmenuzamiento del material por el movimiento de los cuerpos moledores, se muestra en la figura N° 2. Por el giro del cilindro del molino, el montón formado por los elementos moledores y el material se eleva hasta un valor óptimo para su acción molturadora. La molienda se realiza por choque y rozamiento entre los cuerpos moledores y las paredes blindadas del molino.

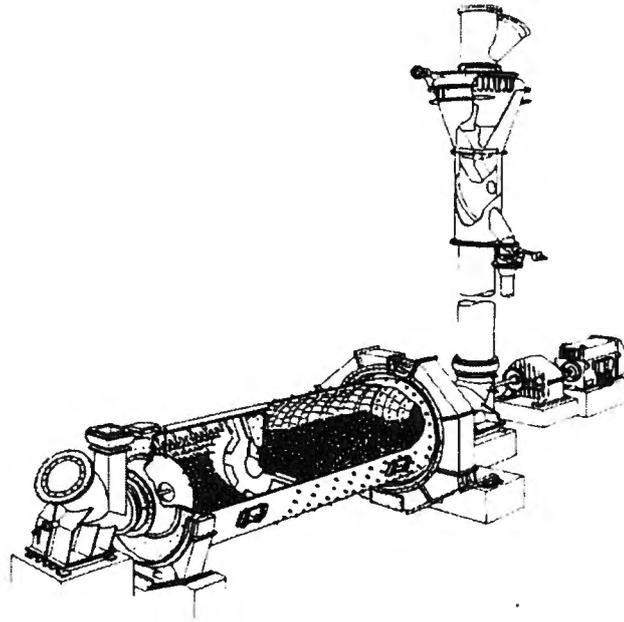


Figura N° 2: Molino de bolas

C. Filtros de Mangas.

Es un aparato que utilizan mangas para separar partículas suspendidas en los gases provenientes del horno, cual se muestra en la figura N° 3. Los gases cargados de polvo ingresan al filtro para salir libres de partículas, el material recuperado reingresa al sistema para mezclarse con las materias primas frescas. El control básico en los filtros de mangas es la temperatura, en el caso de mangas de fibra de vidrio, la temperatura máxima de operación debe ser 240°C.

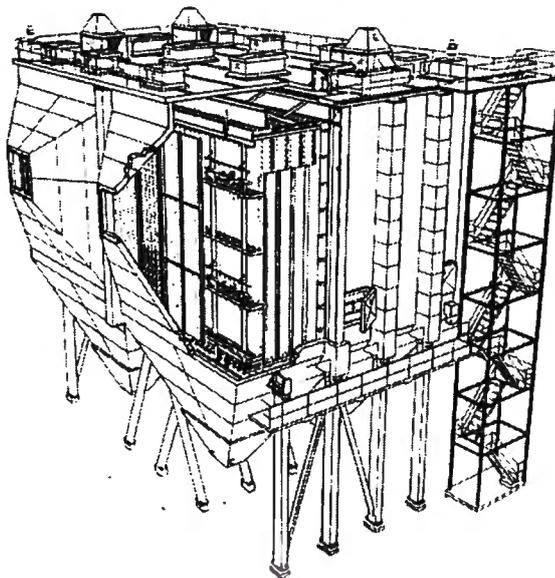


Figura N° 3: Filtros de Mangas (Baghouse)

D. Silo de homogeneización.

Estos silos se utilizan simultáneamente, como depósito para alimentación de crudo y mezclado, donde el material molido es homogeneizado mediante canaletas de aire a presión que se ubican debajo del silo y trabajan sistemáticamente formando un lecho fluido en constante movimiento, haciendo que todo el material se combine para formar la harina cruda. Un esquema del silo se muestra en la figura N° 4.

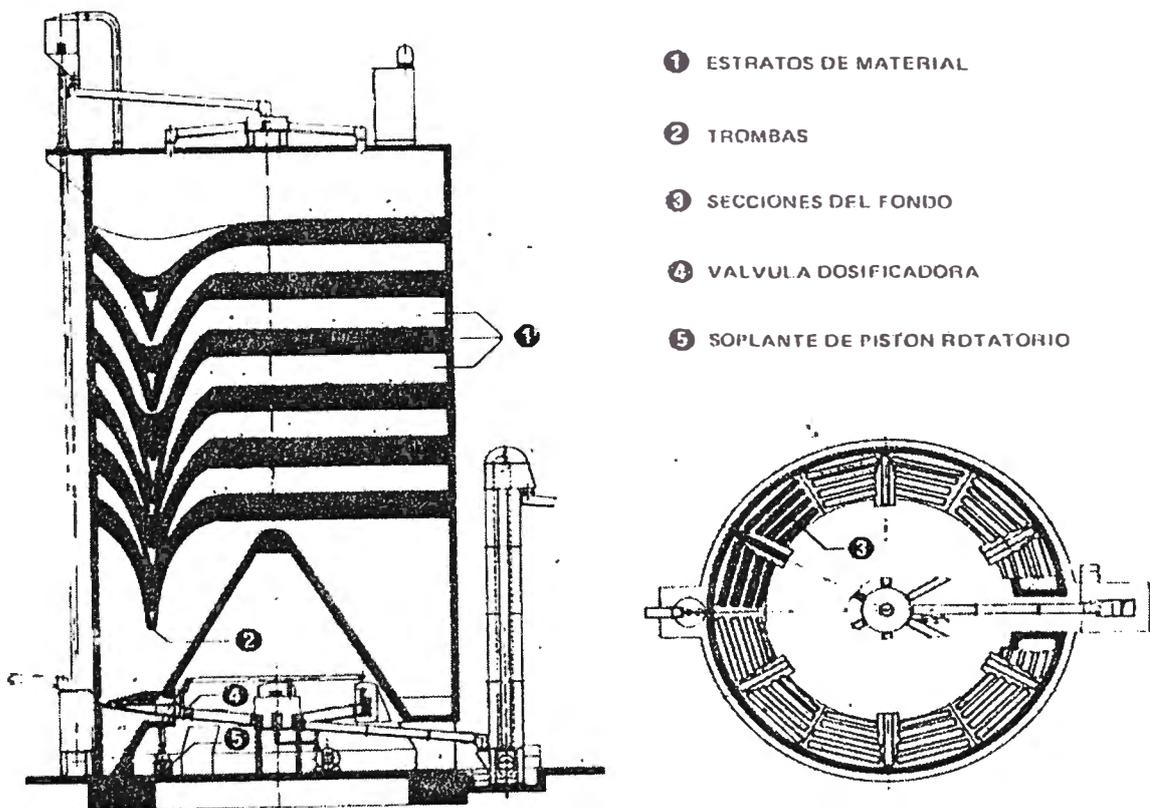


Figura N° 4: Silo de Homogeneización.

E. Intercambiadores de calor.

El intercambiador de calor 1 WT1 que consta de 4 etapas y que trabaja con gases del horno con una capacidad de 70 TPH de harina cruda.

El intercambiador de calor 2 WT2 que consta de 5 etapas con pre calcinador tipo piroclón, que puede trabajar solo con gases del horno, solo con aire terciario o con ambos a la vez con una capacidad de 90 TPH de harina cruda.

Tiene por misión el sistema de intercambio térmico, por el que se recupera el calor residual evacuado con los gases de combustión salientes, que aumentan la eficiencia térmica del horno y por lo tanto disminuye el consumo de combustible. Se puede conseguir, que la alimentación del horno se haga a temperaturas cercanas a los 800 ó 850°C por la utilización de los intercambiadores. En las figuras N° 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 se muestran los diferentes tipos de intercambiadores.

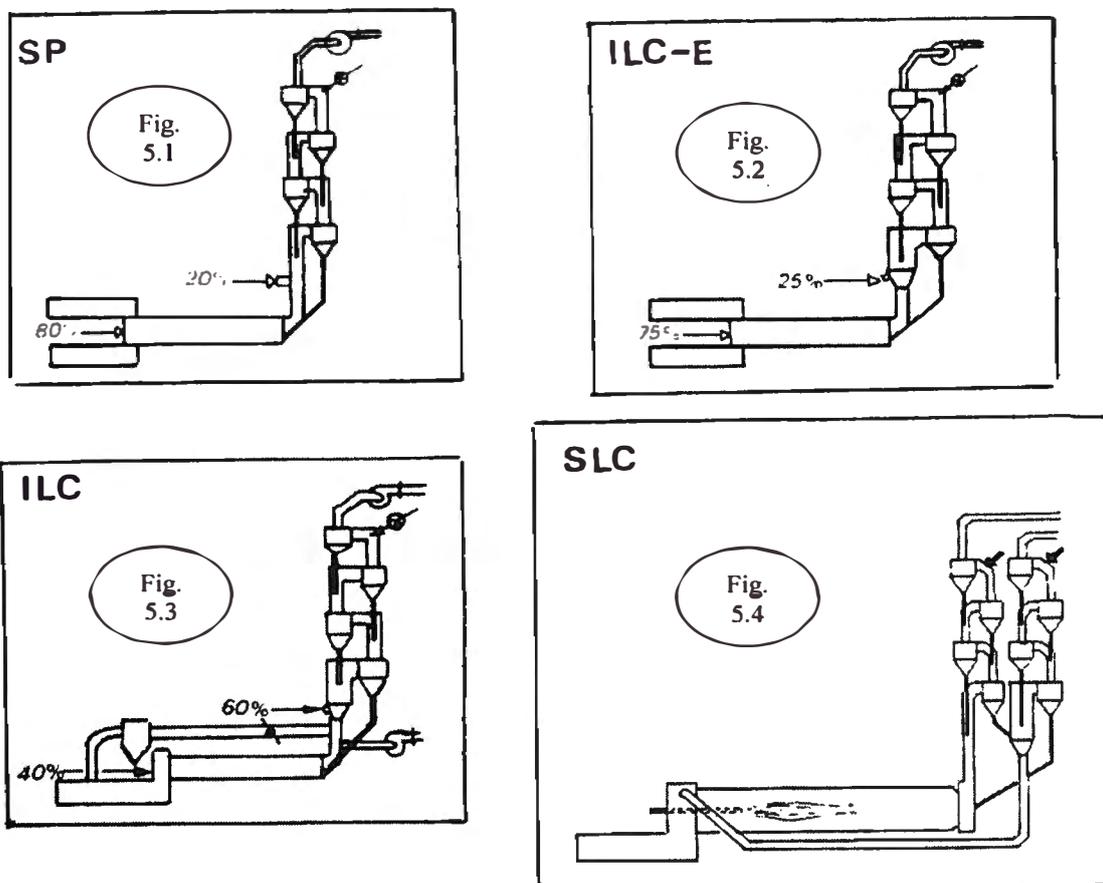


Figura N° 5: Intercambiadores de calor

Figura 5.1: Horno solamente con precalentador.

Figura 5.2: Horno en línea con el calcinador en exceso de aire.

Figura 5.3: Horno en línea con el calcinador.

Figura 5.4: Horno separado del calcinador.

F. Torre de acondicionamiento de Gases TAG.

Es un sistema de acondicionamiento evaporativo de gases o TAG, cuyo esquema se muestra en la figura N° 6, el agua inyectada es vaporizada absorbiendo energía de la corriente de gases calientes, reduciendo así su temperatura. Para lograr este objetivo el agua es atomizada por medio de lanzas de atomización en partículas muy finas para evaporar rápidamente. En la instalación se utilizan boquillas centrífugas asistidas por aire para obtener una uniforme distribución de las gotitas.

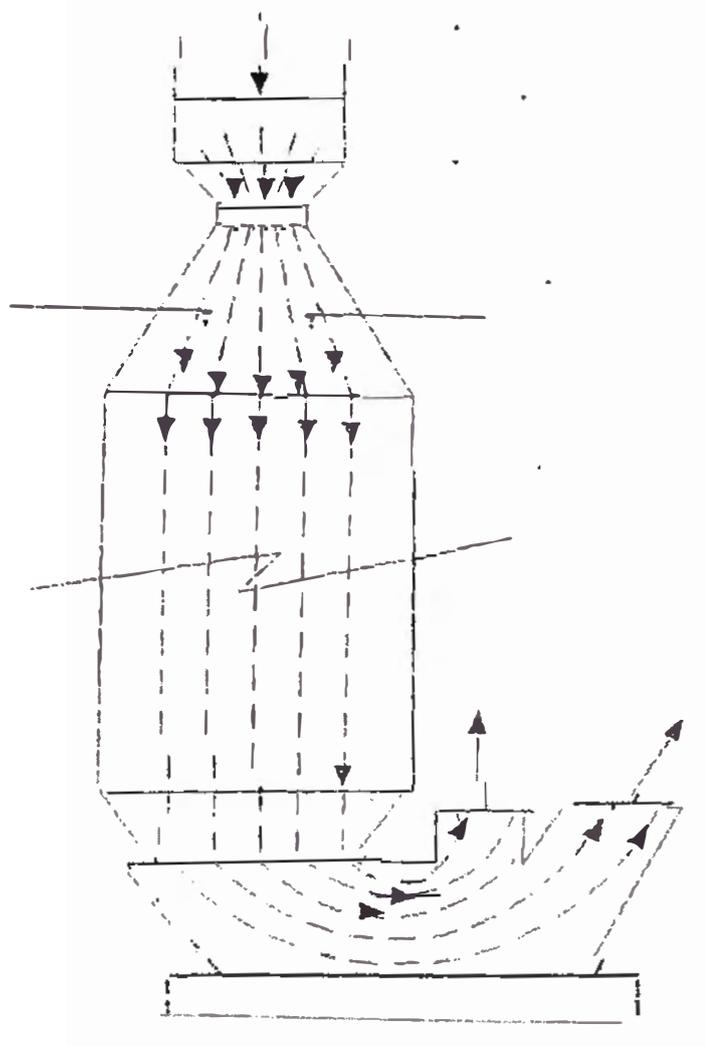


Figura N° 6: Torre de Acondicionamiento de Gases.

G. Horno rotatorio.

El horno rotativo de vía seca usado en el Perú, dispositivo por el cual el calor producido por los gases, transforman la mezcla de cal, óxidos y arcilla en clínker. Las reacciones principales que ocurren en el horno se muestran en el Anexo N° 2. Es en esencia un tubo cilíndrico que gira sobre su eje, rodando sobre pistas de apoyo (llantas), con una inclinación de 3%-5% que permite regular el tiempo de residencia del clínker en el horno. Por el extremo superior (boca fría) del horno se introduce el material crudo, en el extremo inferior (boca de descarga) se sitúa el **quemador**, de esta manera a medida que el material se desliza, se desplaza hacia zonas cada vez más calientes. Las dimensiones de los hornos varían, entre otras cosas, de acuerdo con la capacidad productiva y con el proceso de fabricación. La capacidad del horno es generalmente función del diámetro del horno y la velocidad de rotación que varía entre 1.0 a 4.0 RPM.

Por ejemplo, un horno de 4 m. de diámetro por 52 m. de longitud, como se muestra en la figura N° 7, que consta de un quemador principal instalado en el cabezal del horno, con capacidad para quemar 6000 L/hr de petróleo o 7500 kg/hr de carbón o una mezcla de ambos en las proporciones deseadas, tendrá una inclinación de 3.5% y una velocidad de rotación de 4 RPM.

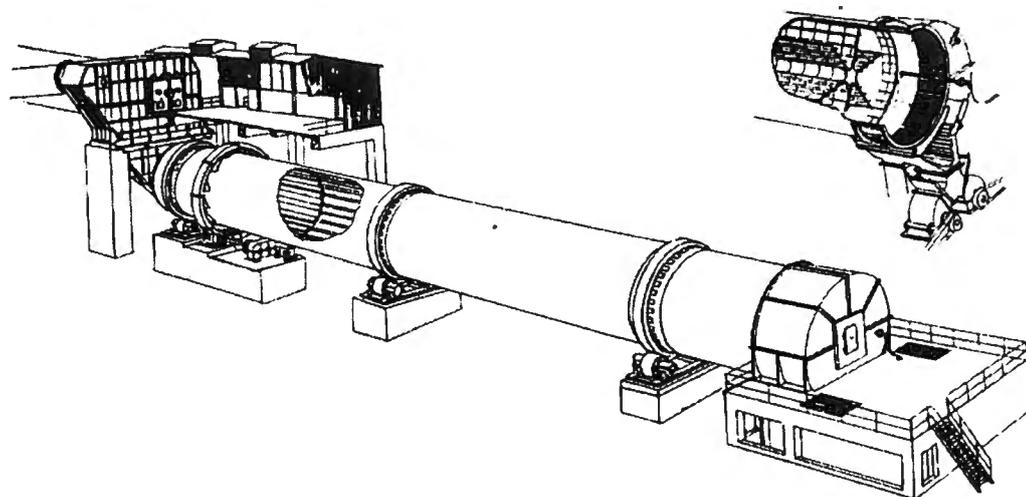


Figura N° 7: Horno rotatorio de cemento.

H. Quemador:

Todos los quemadores están previstos para lanzar el combustible dentro del horno rotatorio con cierta fuerza, la cual se proporciona normalmente por la inyección del aire primario dentro del quemador, el resto del aire penetra alrededor de la flama procedente del enfriador.

Es muy importante el control del aire primario ya que él depende la fuerza de la flama. Si la flama sale más fuerte llegará muy atrás del horno y si sale muy suave será arrastrada por el aire secundario, este momento de flama se calcula multiplicando la velocidad al cuadrado del aire primario en la salida del quemador por su porcentaje.

El quemador esta provisto de un difusor en la punta que obliga al aire primario, al combustible y a la flama en formación a girar sobre si misma con la cual toma una dirección definida. La flama puede alargarse o disminuir su longitud aumentando o disminuyendo la cantidad de combustible y aire primario; puede abrirse o adelgazarse modificando el ángulo de atomización, esto se logra regulando el aire axial o radial.

Existen dos sistemas importantes de quemadores:

1. Quemador PILLARD, como se muestra en la figura N° 8, tiene dos salidas para combustible y aire primario, una radial en el centro y otra axial en el exterior. La

salida radial lanza el combustible hacia los lados a un ángulo determinado por la boquilla, pero la salida axial actúa por el exterior curvando la flama hacia adentro y provocando un vacío en su interior. Cambiando las presiones de salida radial y axial podemos modificar la flama a nuestro gusto.

2. Quemador F.L. SMIDTH, tipo SWIRLAX, como se muestra en la figura N° 9, es un quemador de tres canales con una tubería central protectora para un quemador de fuel, rodeado por tres secciones anulares transversales: un canal radial de aire, un canal de carbón y un canal de aire axial, el aire de transporte para el carbón generalmente debe estar entre 0.2 a 0.4 kg / kg de carbón. Para un carbón de volatilidad del 30%, es necesario un ventilador con 120 mb de presión, para un carbón 15% de volatilidad es necesario una presión de 280 mb de presión como mínimo.

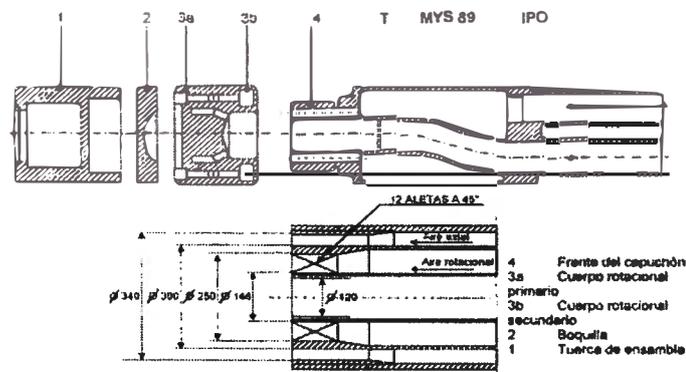


Figura N° 8: El Quemador Pillard.

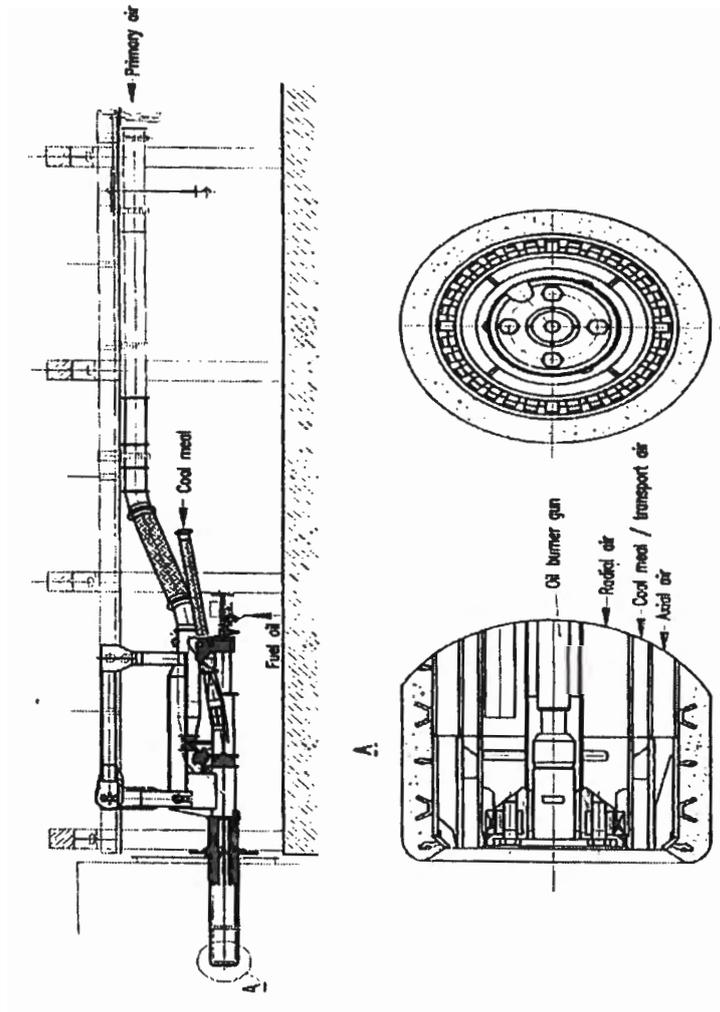


Figura N° 9: El Quemador F.L. Smidth

I. Enfriador:

El enfriador tipo parrilla es un recinto rectangular, cuyo piso esta formado por placas intercaladas móviles y fijas, como se muestra en la figura N° 10.

El ingreso de aire a temperatura ambiente,

Por ejemplo, un enfriador de 2.85 m de ancho por 11.75 m de longitud con capacidad instalada de 2100 TPD de clínker y enfriado con 3 ventiladores.

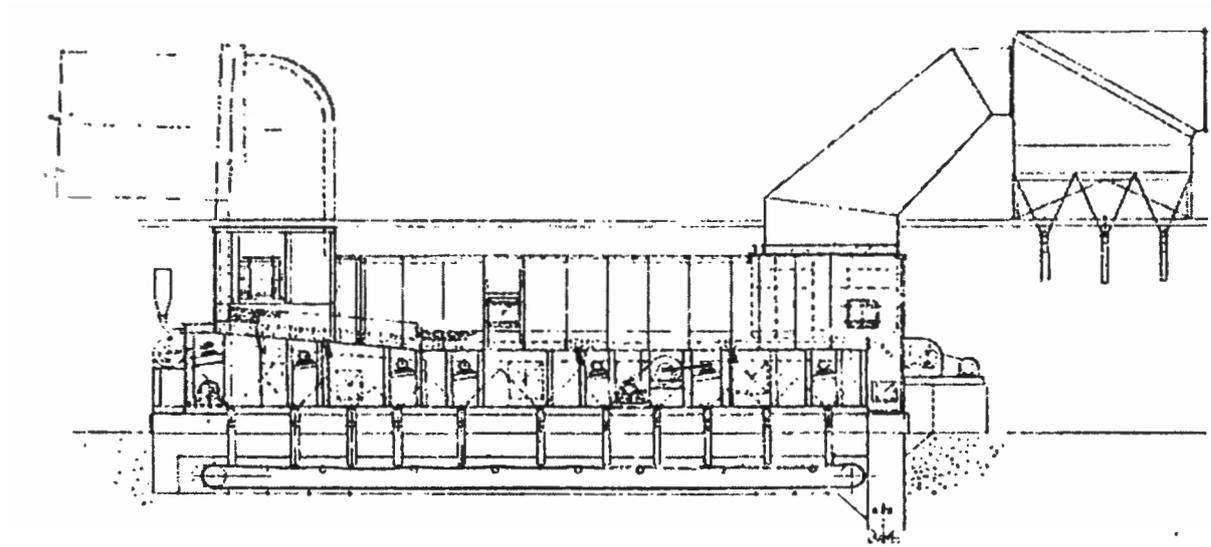
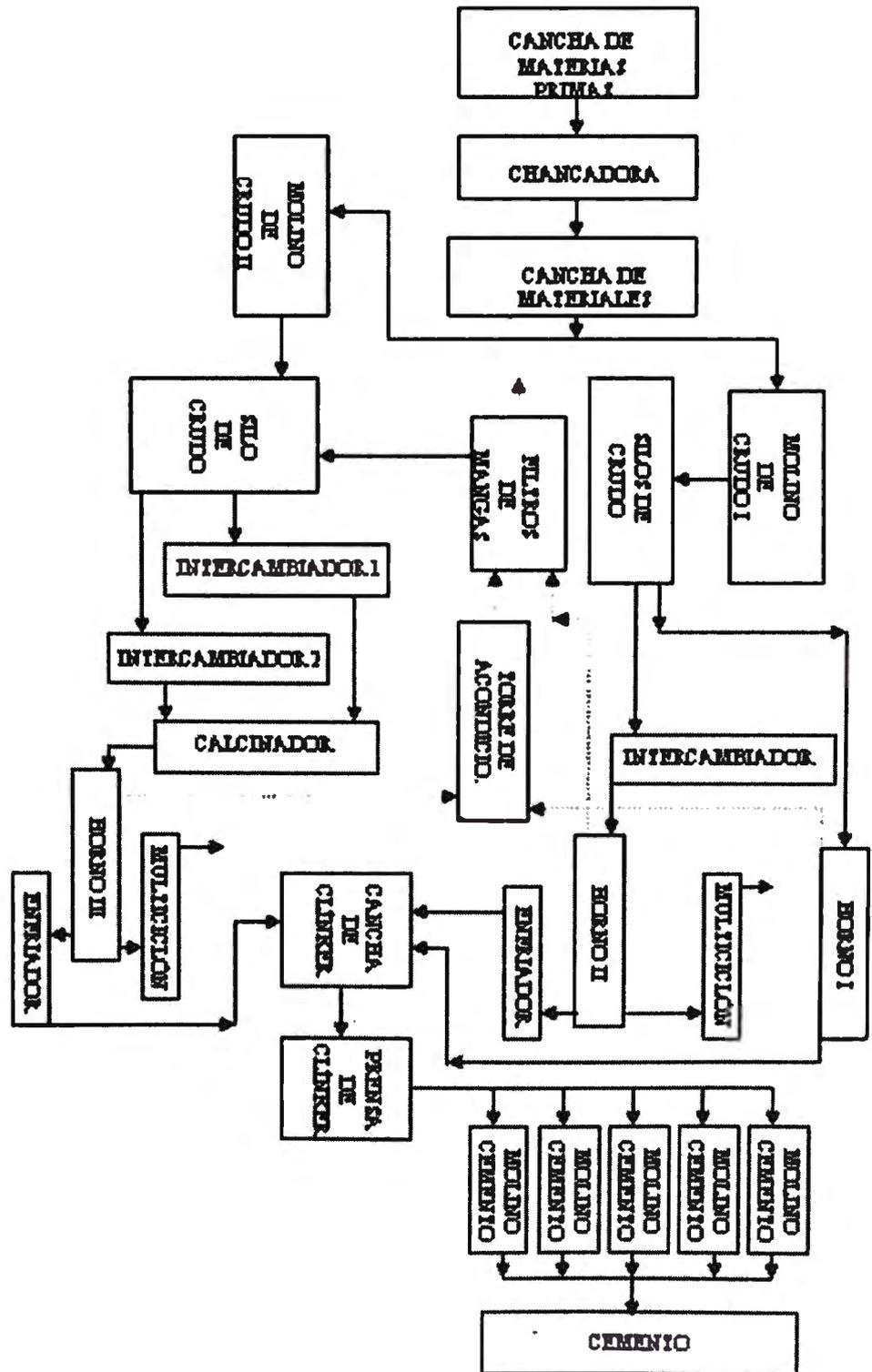


Figura N° 10: Enfriador de parrillas.

En la figura N° 11, se muestra un diagrama de bloques de la fabricación de cemento Portland por vía seca.

Figura N° 11: Diagrama de Fabricación del Cemento Portland por vía seca.



4-3. Parte experimental.

4-3-1. Determinación del factor clínker/crudo en un horno tipo SLC.

El factor clínker/crudo indica la razón de producción de clínker por tonelada de crudo alimentado, básico en el balance de materia, además mediante la evaluación de este factor podemos determinar el consumo calorífico del crudo y la eficiencia del proceso productivo.

1. Datos de operación del horno.

Tiempo de prueba: 24 horas

Harina cruda alimentada.

Intercambiador 1: 64.6 TPH

Intercambiador 2: 79.8 TPH

Total: 144.4 TPH

Uso de Carbón Importado - Bituminoso.

Calcinador: 5.5 TPH

Cabezal: 4.9 TPH

Total: 10.4 TPH

2. Producción de clínker. Ver anexo N° 3.

Clínker grueso: 70.4 TPH

Clínker fino: 10.5 TPH

Total: 80.9 TPH

3. Cálculo del factor clínker/crudo, cc.

$$f = \frac{T/h \text{ clínker}}{T/h \text{ crudo}} = 0.5602$$

4. Cálculo del consumo calorífico del crudo.

$$cc = 7100 \frac{kcal}{kg} * \frac{T/h \text{ de carbon}}{T/h \text{ de clínker}} = 912 \frac{Kcal}{kg \text{ clínker}}$$

Nota: Para el caso de Carbón Nacional se procede en forma similar, como se muestra en el cuadro N° 5.

Cuadro N° 5: Factores de producción del crudo, clínker y combustible.

| | Unidad | Carbón Importado | Carbón Nacional |
|---|-----------------------|---------------------|--------------------|
| Alimentación de harina cruda | TPH | 144.40 | 137.73 |
| Consumo de carbón | TPH | 10.40 | 15.00 |
| Producción de clínker | TPH | 80.90 | 80.90 |
| Factor clínker / harina cruda | | 0.5602 | 0.5874 |
| Factor crudo usado/clínker | | 1.5198 | 1.4491 |
| Poder calorífico inferior del combustible | kcal / kg combustible | 7100.00 | 4950.00 |
| Consumo calorífico en el horno | kcal / kg clínker | 912.73 | 917.80 |

4-3-2. Diseño de mezcla de la materia prima.

1. Para el uso de Carbón Importado

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Factor clínker/alimentación | 0.5602 |
| Factor crudo usado/clínker | 1.5198 |
| Factor combustible/alimentación | 0.0720 |
| Clínker producido: | 1.0000 TM |
| Crudo Usado: | 1.5198 TM |
| Alimentación: | 1.7851 TM |
| Carbón Usado: | 0.1285 TM |
| % ceniza: | 12.2400 |

El crudo teórico es calculado por la regla de mezclas.

| Óxidos | Clínker | Ceniza | Crudo teórico Objetivo |
|--------------------------------|---------|--------|---------------------------|
| SiO ₂ | 22.68 | 50.76 | 14.40 |
| Al ₂ O ₃ | 4.23 | 18.91 | 2.59 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.55 | 7.32 | 2.26 |
| CaO | 66.74 | 16.09 | 43.75 |

Cálculo de la determinante de la Matriz:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla |
|----------------|----------------|--------------------|---------|
| 6.42 | 21.22 | 40.33 | 49.18 |
| 0.79 | 1.88 | 6.26 | 26.55 |
| 0.77 | 1.08 | 35.86 | 4.97 |
| 51.12 | 39.40 | 4.54 | 2.48 |

Cálculo de la determinante para la Caliza Alta:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla | Caliza Alta % |
|----------------|----------------|--------------------|---------|------------------|
| 14.4 | 21.2 | 40.3 | 49.2 | |
| 2.6 | 1.9 | 6.3 | 26.6 | |
| 2.3 | 1.1 | 35.9 | 5.0 | |
| 43.7 | 39.4 | 4.5 | 2.5 | 60.2 |

Cálculo de la determinante para la Caliza Baja:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla | Caliza Baja % |
|-------------|-------------|-----------------|---------|---------------|
| 6.4 | 14.4 | 40.3 | 49.2 | |
| 0.8 | 2.6 | 6.3 | 26.6 | |
| 0.8 | 2.3 | 35.9 | 5.0 | |
| 51.1 | 43.7 | 4.5 | 2.5 | 31.6 |

Cálculo de la determinante para el Oxido de Fierro:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla | Oxido % |
|-------------|-------------|-----------------|---------|---------|
| 6.4 | 21.2 | 14.4 | 49.2 | |
| 0.8 | 1.9 | 2.6 | 26.6 | |
| 0.8 | 1.1 | 2.3 | 5.0 | |
| 51.1 | 39.4 | 43.7 | 2.5 | 3.3 |

Cálculo para la determinante para la Arcilla:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla | Arcilla % |
|-------------|-------------|-----------------|---------|-----------|
| 6.4 | 21.2 | 40.3 | 14.4 | |
| 0.8 | 1.9 | 6.3 | 2.6 | |
| 0.8 | 1.1 | 35.9 | 2.3 | |
| 51.1 | 39.4 | 4.5 | 43.7 | 4.9 |

2. Para el uso de Carbón Nacional

| | |
|---------------------------------|-----------|
| Factor clínker/alimentación | 0.5874 |
| Factor crudo usado/clínker | 1.4491 |
| Factor combustible/alimentación | 0.1089 |
| Clínker producido: | 1.0000 TM |
| Crudo Usado: | 1.4491 TM |
| Alimentación: | 1.7024 TM |
| Carbón Usado: | 0.185 TM |
| % ceniza | 35.8000 |

El crudo teórico es calculado por la regla de mezclas.

| Óxidos | Clínker | Ceniza | Crudo teórico Objetivo |
|--------------------------------|---------|--------|------------------------|
| SiO ₂ | 22.52 | 54.26 | 13.06 |
| Al ₂ O ₃ | 5.05 | 34.18 | 1.92 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.53 | 3.34 | 2.28 |
| CaO | 66.31 | 3.56 | 45.60 |

Cálculo de la determinante de la Matriz:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla |
|-------------|-------------|-----------------|---------|
| 6.4 | 21.2 | 40.3 | 49.2 |
| 0.8 | 1.9 | 6.3 | 26.6 |
| 0.8 | 1.1 | 35.9 | 5.0 |
| 51.1 | 39.4 | 4.5 | 2.5 |

Cálculo de la determinante para la Caliza Alta:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla | Caliza Alta % |
|-------------|-------------|-----------------|---------|---------------|
| 13.1 | 21.2 | 40.3 | 49.2 | |
| 1.9 | 1.9 | 6.3 | 26.6 | |
| 2.3 | 1.1 | 35.9 | 5.0 | |
| 45.6 | 39.4 | 4.5 | 2.5 | 65.5 |

Cálculo de la determinante para la Caliza Baja:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla | Caliza Baja % |
|-------------|-------------|-----------------|---------|---------------|
| 6.4 | 13.1 | 40.3 | 49.2 | |
| 0.8 | 1.9 | 6.3 | 26.6 | |
| 0.8 | 2.3 | 35.9 | 5.0 | |
| 51.1 | 45.6 | 4.5 | 2.5 | 28.5 |

Cálculo de la determinante para el Oxido de Fierro:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla | Oxido % |
|-------------|-------------|-----------------|---------|---------|
| 6.4 | 21.2 | 13.1 | 49.2 | |
| 0.8 | 1.9 | 1.9 | 26.6 | |
| 0.8 | 1.1 | 2.3 | 5.0 | |
| 51.1 | 39.4 | 45.6 | 2.5 | 3.7 |

Cálculo para la determinante para la Arcilla:

| Caliza Alta | Caliza Baja | Oxido de Fierro | Arcilla | Arcilla % |
|-------------|-------------|-----------------|---------|-----------|
| 6.4 | 21.2 | 40.3 | 13.1 | |
| 0.8 | 1.9 | 6.3 | 1.9 | |
| 0.8 | 1.1 | 35.9 | 2.3 | |
| 51.1 | 39.4 | 4.5 | 45.6 | 2.3 |

4-3-3 Análisis de los módulos de control: Saturación, módulo de sílice y módulo de alúmina.

El investigador R. H. Bogue estableció ecuaciones para calcular anticipadamente cuanto de cada uno de los componentes se pudiera formar, conociendo el análisis de la materia prima o del clínker. Para establecer estas ecuaciones, supuso que las condiciones de reacción sean las de operación óptima del horno, estando limitadas por las condiciones reales de operación, es totalmente teórico por lo que se conoce como: “Potencial Bogue”

$$C_3S = 4.07 C - 7.6 S - 6.72 A - 1.43 F$$

$$C_2S = 2.87 S - 0.75 C_3S$$

$$C_3A = 2.65 A - 1.69 F$$

$$C_4AF = 3.04 F$$

Donde:

$$C = CaO, \quad S = SiO_2, \quad A = Al_2O_3, \quad F = Fe_2O_3.$$

Módulo de Saturación:

Este factor es usado para el control de la alimentación al horno.

Cuando el valor es cercano a 0.97, se tiene un clínker difícil de calcinar y con tendencia a contenidos altos de cal libre. Se fomenta la formación de los compuestos con mas cal: C_3S y C_3A y se requiere mas calor. Si el valor es cercano a 0.92 el clínker se calcinará con facilidad, pero tendremos un exceso de fase líquida en la zona de clinkerización con una fuerte tendencia a la formación de anillos.

$$Si \ A/F \geq 0.64$$

$$LSF = \frac{CaO}{2.8SiO_2 + 1.65Al_2O_3 + 0.35Fe_2O_3}$$

$$Si \ A/F \leq 0.64$$

$$LSF = \frac{CaO}{2.8SiO_2 + 1.1Al_2O_3 + 0.7Fe_2O_3}$$

Módulo de Silicatos:

Este factor nos sirve para definir cuanto silicatos tenemos y cuanto de aluminatos en nuestro producto final. Si el valor tiende a 3, habrá poca fase líquida con la tendencia a la formación de polvo y costra inestable. Aparecerán anillos en la zona de transición y la costra que se pueda formar resiste poco a los choques térmicos. Por otra parte se fomenta la formación de C_3S y C_2S .

Si el valor tiende a 2, se tendrá un exceso de fase líquida, que infiltrará los ladrillos básicos. La costra formada tendrá un bajo punto de ablandamiento. Se fomenta la formación de C_3A y C_4AF .

$$MS = \frac{S}{A + F}$$

Módulo de Alúmina:

Este factor determina la viscosidad de la fase líquida y la velocidad de formación de C_3A . Si el valor es mayor a 2.5 tendremos una fase líquida muy viscosa. Si el menor es valor a 0.64 no existe posibilidad de formación de C_3A y la fase líquida será de alta densidad y baja viscosidad, pudiendo penetrar por los poros del refractario.

$$MA = \frac{A}{F}$$

A continuación en la tabla N° 1 y tabla N° 2, se presentan los resultados de los cálculos realizados; para el carbón importado como para el carbón nacional respectivamente.

En los cuadros N° 6, 7, 8 y 9 se muestran los resultados de los balances de materia y energía en el horno tipo SLC, respectivamente.

Las figuras N° 12 y 13 representan los balances de materia, en los equipos correspondientes, tanto para el carbón importado como el nacional.

Cálculo del Potencial de Bogue y de los módulos de control:

1. Por el uso de Carbón Importado

| Crudo | % | Clínter | % |
|--------------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| SiO ₂ | 14.40 | SiO ₂ | 22.68 |
| Al ₂ O ₃ | 2.59 | Al ₂ O ₃ | 4.23 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.26 | Fe ₂ O ₃ | 3.55 |
| CaO | 43.75 | CaO | 66.74 |
| C ₃ S | 48.07 | C ₃ S | 65.86 |
| C ₂ S | 5.01 | C ₂ S | 15.33 |
| C ₃ A | 3.03 | C ₃ A | 5.20 |
| C ₄ AF | 6.88 | C ₄ AF | 10.80 |
| LSF | 0.96 | LSF | 0.93 |
| MS | 2.97 | MS | 2.91 |
| MA | 1.14 | MA | 1.19 |

Tabla N° 1: Resultados de los análisis de los módulos de control para el carbón importado.

2. Por el uso de Carbón Nacional

| Crudo | % | Clínter | % |
|--------------------------------|----------|--------------------------------|----------|
| SiO ₂ | 13.06 | SiO ₂ | 22.52 |
| Al ₂ O ₃ | 1.92 | Al ₂ O ₃ | 5.05 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.28 | Fe ₂ O ₃ | 3.53 |
| CaO | 45.60 | CaO | 66.31 |
| C ₃ S | 70.24 | C ₃ S | 59.82 |
| C ₂ S | 15.56 | C ₂ S | 19.43 |
| C ₃ A | 1.22 | C ₃ A | 7.41 |
| C ₄ AF | 6.95 | C ₄ AF | 10.74 |
| LSF | 1.13 | LSF | 0.91 |
| MS | 3.11 | MS | 2.62 |
| MA | 0.84 | MA | 1.43 |

Tabla N° 2: Resultados de los análisis de los módulos de control para el carbón nacional.

4-4. Balance de materia y energía.

4-4-1. Por el uso de carbón Importado.

Cuadro N° 6: Balance de materia en un horno tipo SLC.

| | Uso de Carbón Importado | |
|--|-------------------------|--------------------|
| Producción de clínker | 80.90 | TPH |
| Combustible: | | |
| Carbón calcinador | 5.50 | TPH |
| Carbón cabezal | 4.90 | TPH |
| Cenizas | 12.24 | % |
| Consumo calorífico: | 912.73 | kcal/kg clínker |
| Etapa horneado | Uso de Carbón Importado | |
| ENTRADA | TPH | % |
| 1. Harina cruda ramal 1 | 64.60 | 44.74 |
| 2. Harina cruda ramal 2 | 79.80 | 55.26 |
| Total ingreso de material | 144.40 | 100.00 |
| SALIDA | TPH | % |
| 3. Polvo debido al arrastre de los gases | 21.46 | 14.86 |
| 4. Chimenea de los multiclones | 0.01 | 0.01 |
| 5. Producción de clínker | 70.40 | 48.75 |
| 6. Producción de clínker finos | 10.50 | 7.27 |
| 7. Descarbonatación del CaCO ₃ | 42.03 | 29.10 |
| Total salida de material | 144.40 | 100.00 |
| Etapa sistema de recuperación de polvo | Uso de Carbón Importado | |
| ENTRADA | TPH | % |
| 3. De los intercambiadores - Horno | 21.46 | 100.00 |
| Total ingreso de material | 21.46 | 100.00 |
| SALIDA | TPH | % |
| 8. Recuperación torre de acondicionamiento | 8.60 | 40.07 |
| 9. Recuperación filtros de mangas | 10.20 | 47.53 |
| 10. Emisión chimenea 1 | 0.01 | 0.03 |
| 11. Emisión chimenea 2 | 0.01 | 0.05 |
| 12. Emisión chimenea 3 | 0.01 | 0.05 |
| 13. Emisión chimenea multiclón | 0.01 | 0.06 |
| 14. Pérdidas otros | 2.62 | 12.21 |
| Total salida de material | 21.46 | 100.00 |

Cuadro N° 7: Balance de energía en un horno tipo SLC.

| | Uso de Carbón Importado | |
|---|-------------------------|---------------------|
| | Producción | 1941.6 |
| | 80.9 | TPH |
| Combustible: Carbón | 249.6 | TPD |
| | 10.4 | TPH |
| Poder calorífico inferior: | 7100.0 | kcal/kg combustible |
| Entrada de calor por : | kcal/kg | % |
| Combustión del combustible | 912.7 | 96.8 |
| Calor sensible del combustible | 2.8 | 0.3 |
| Calor sensible de la harina cruda | 22.6 | 2.4 |
| Calor sensible del aire de combustión | 4.7 | 0.5 |
| Total entrada de calor | 942.9 | 100.0 |
| Salida de calor por : | kcal/ kg | % |
| Calor teórico de formación de clínker | 421.3 | 44.7 |
| Evaporación del agua de la harina cruda | 3.9 | 0.4 |
| Gases de combustión, salida intercambiador | 180.0 | 19.1 |
| Calor sensible del clínker a la salida enfriador | 26.0 | 2.8 |
| Calor sensible polvo clínker salida del enfriador | 11.0 | 1.2 |
| Pérdidas de calor por radiación y convección | | |
| Coraza del horno | 91.0 | 9.7 |
| Enfriador, multiciclón y cabezal | 9.3 | 1.0 |
| Ducto de aire terciario, reiser, calcinador | 28.0 | 3.0 |
| Ciclones del intercambiador | 37.0 | 3.9 |
| Aire de escape por el multiciclón | 72.0 | 7.6 |
| Otras pérdidas | 63.5 | 6.7 |
| Total consumo de calor | 942.9 | 100.0 |

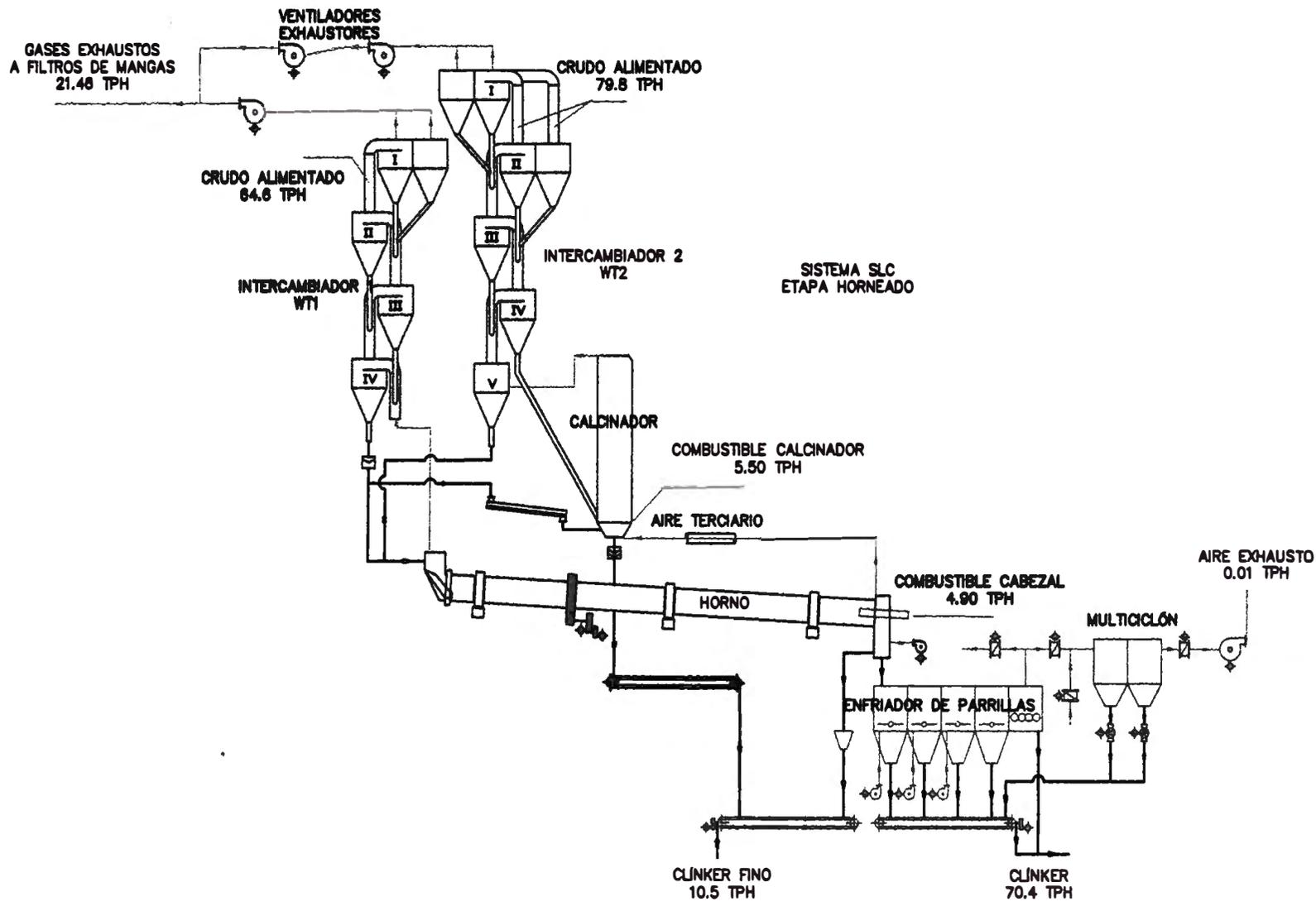


Figura N° 12: Diagrama de flujo. Balance de materia, uso de carbón Importado.

4-4-2. Por el uso de carbón Nacional.

Cuadro N° 8: Balance de materia en un horno tipo SLC.

| | Uso de Carbón Nacional | |
|--|------------------------|--------------------|
| Producción de clínker | 80.90 | TPH |
| Combustible : | | |
| Carbón calcinador | 8.00 | TPH |
| Carbón cabezal | 7.00 | TPH |
| Cenizas | 35.80 | % |
| Consumo calorífico | 917.80 | kcal/kg clínker |
| Etapa horneado | Uso de Carbón Nacional | |
| ENTRADA | TPH | % |
| 1. Harina cruda ramal 1 | 62.00 | 45.02 |
| 2. Harina cruda ramal 2 | 75.73 | 54.98 |
| Total ingreso de material | 137.73 | 100.00 |
| SALIDA | TPH | % |
| 3. Polvo debido al arrastre de los gases | 20.50 | 14.88 |
| 4. Chimenea de los multiciclones | 0.01 | 0.01 |
| 5. Producción de clínker | 68.00 | 49.37 |
| 6. Producción de clínker finos | 12.90 | 9.37 |
| 7. Descarbonatación del CaCO ₃ | 36.32 | 26.37 |
| Total salida de material | 137.73 | 100.00 |
| Etapa sistema de recuperación de polvo | Uso de Carbón Nacional | |
| ENTRADA | TPH | % |
| 3. De los intercambiadores – Horno | 20.50 | 100.00 |
| Total ingreso de material | 20.50 | 100.00 |
| SALIDA | TPH | % |
| 8. Recuperación torre de acondicionamiento | 5.00 | 24.39 |
| 9. Recuperación filtros de mangas | 9.76 | 47.61 |
| 10. Emisión chimenea 1 | 0.01 | 0.05 |
| 11. Emisión chimenea 2 | 0.01 | 0.05 |
| 12. Emisión chimenea 3 | 0.01 | 0.05 |
| 13. Emisión chimenea multiciclón | 0.01 | 0.05 |
| 14. Pérdidas otros | 5.70 | 27.80 |
| Total salida de material | 20.50 | 100.00 |

Cuadro N° 9: Balance de energía en un horno tipo SLC.

| | Uso de Carbón Nacional | |
|---|------------------------|---------------------|
| | | |
| Producción | 1941.6 | TPD |
| | 80.9 | TPH |
| Combustible: Carbón | 360.0 | TPD |
| | 15.0 | TPH |
| Poder calorífico inferior: | 4950.0 | kcal/kg combustible |
| | kcal/kg | % |
| Entrada de calor por : | | |
| Combustión del combustible | 917.8 | 97.3 |
| Calor sensible del combustible | 4.7 | 0.5 |
| Calor sensible de la harina cruda | 17.0 | 1.8 |
| Calor sensible del aire de combustión | 3.8 | 0.4 |
| Total entrada de calor | 943.3 | 100.0 |
| Salida de calor por : | kcal/ kg | % |
| Calor teórico de formación de clínker | 420.0 | 44.5 |
| Evaporación del agua de la harina cruda | 3.4 | 0.4 |
| Gases de combustión, salida intercambiador | 185.0 | 19.6 |
| Calor sensible del clínker a la salida enfriador | 22.6 | 2.4 |
| Calor sensible polvo clínker salida del enfriador | 9.0 | 1.0 |
| Pérdidas de calor por radiación y convección | | |
| Coraza del horno | 80.0 | 8.5 |
| Enfriador, multiciclón y cabezal | 10.0 | 1.1 |
| Ducto de aire terciario, reiser, calinador | 25.0 | 2.7 |
| Ciclones del intercambiador | 40.0 | 4.2 |
| Aire de escape por el multiciclón | 75.0 | 8.0 |
| Otras pérdidas | 73.3 | 7.8 |
| Total consumo de calor | 943.3 | 100.0 |

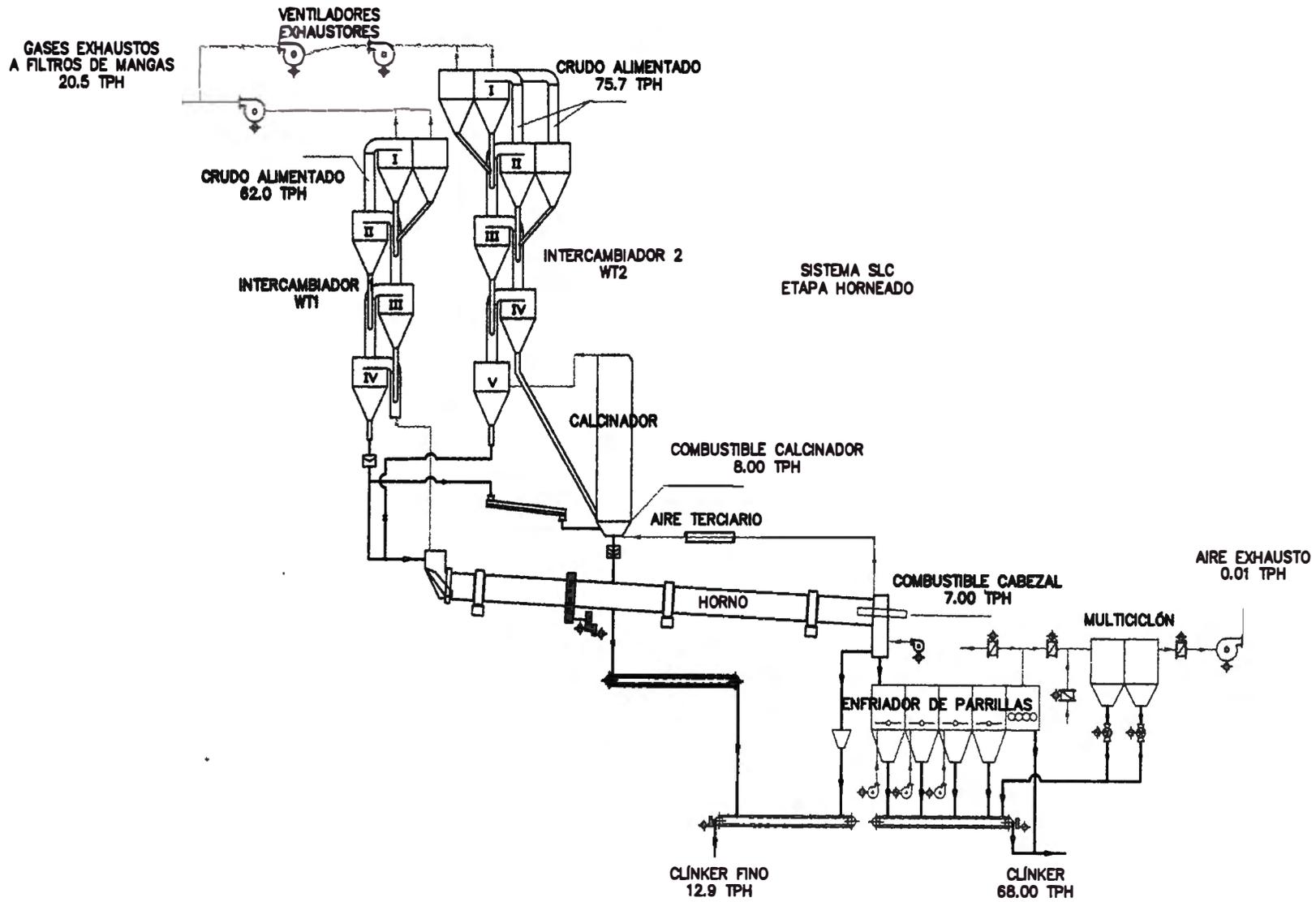


Figura N° 13: Diagrama de flujo. Balance de materia, uso de carbón Nacional.

5. BENEFICIOS TÉCNICOS DEL ESTUDIO.

5-1. Ahorro en materias primas por el uso de Carbón Nacional

El incremento de las cenizas en el carbón nacional, es asimilado por el clínker en reemplazo de la arcilla, esta disminución genera un ahorro significativo por la disminución de la materia prima, como se muestra en la tabla N° 3. Asimismo la explotación de carbón en las minas de Oyón tiene un menor costo de manufactura, que se refleja en el precio de venta como se muestra en la tabla N° 4.

Producción:

Clínker: (100.0 TPH) 2400 TPD

Cemento: (105.3 TPH) 2526 TPD

| Uso: Carbón Importado | (TPH) | US\$ / TM | US\$ | US\$ / TM cemento |
|-----------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|
| Caliza alta | 91.50 | 2.50 | 228.75 | 2.17 |
| Caliza baja | 47.99 | 2.50 | 119.97 | 1.14 |
| Oxido de Fierro | 5.09 | 14.00 | 71.20 | 0.68 |
| Arcilla | 7.40 | 12.00 | 88.86 | 0.84 |
| Total | 151.98 | | 508.79 | 4.83 |
| Uso: Carbón Nacional | (TPH) | US\$ / TM | US\$ | US\$ / TM cemento |
| Caliza alta | 94.94 | 2.50 | 237.34 | 2.25 |
| Caliza baja | 41.31 | 2.50 | 103.26 | 0.98 |
| Oxido de Fierro | 5.35 | 14.00 | 74.93 | 0.71 |
| Arcilla | 3.32 | 12.00 | 39.78 | 0.38 |
| Total | 144.91 | | 455.32 | 4.33 |

Tabla N° 3: Ahorro en arcilla por el uso de carbón nacional.

Ahorro: 50.79 c US\$ / TM Cemento

5-2. Ahorro económico en combustible por el uso de Carbón Nacional

| Uso: Carbón Importado | (TM) | US\$ / TM | US\$ | US\$ / TM cemento |
|-----------------------|--------|-----------|---------|----------------------|
| Combustible | 12.85 | 97.00 | 1246.70 | 11.84 |
| Uso: Carbón Nacional | (TM) | US\$ / TM | US\$ | US\$ / TM cemento |
| US\$ / TM | 18.54 | 55.00 | 1019.66 | 9.68 |

Tabla N° 4: Ahorro por menor costo del carbón nacional.

Ahorro: 215.61 c US\$ / TM Cemento

Ahorro Total: 266.40 c US\$ / TM Cemento

2.66 US\$ / TM Cemento

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

6-1. Evaluación del costo de manufactura.

A continuación se detallan todos los costos directos e indirectos y los gastos que incurren en la determinación del costo de producción tanto para el carbón importado y nacional.

6-1-1. Por el uso de carbón Importado.

| | | | | | |
|---|--------|----------|-----------|----------|-------|
| Capacidad: | 664232 | TM/año | | | |
| Producción clínker por día: | 1942 | TPD | | | |
| Fecha estimación: | 2003 | 325 días | | | |
| Capital fijo: | 50000 | M US\$ | | | |
| Capital de trabajo: 20% | 10000 | M US\$ | | | |
| Inversión capital total: | 60000 | M US\$ | | | |
| Gastos de fabricación. | | | | | |
| A) Costos Directos | | | | | |
| A.1 Materias primas | TPD | TM/Año | \$/TM | M \$/año | % |
| Caliza alta | 1777 | 577378 | 2.50 | 1443 | 4.3 |
| Caliza baja | 932 | 302826 | 2.50 | 757 | 2.3 |
| Oxido Fierro | 99 | 32094 | 14.00 | 449 | 1.3 |
| Arcilla | 144 | 46727 | 12.00 | 561 | 1.7 |
| Combustible | 250 | 81102 | 97.00 | 7867 | 23.5 |
| Refractarios 1.2kg/TM clínker | 2 | 757 | 150.00 | 114 | 0.3 |
| A.2 Mano de obra de operación (6 % del costo del producto) | | | | 2008 | 6.0 |
| A.3 supervisión y mano de obra De oficina (15% de la mano de obra operación) | | | | 301 | 0.9 |
| A.4 Servicios 150 Kwh / TM Cemento | | | | | |
| Electricidad(Kwh/año) | 1E+08 | 3.50 | c\$/KWH | 3487 | 10.4 |
| A.5 Mantenimiento y reparaciones (M&R): (6% del Capital fijo) | | | | 3600 | 10.8 |
| A.6 Suministros de operación: (20% de M&R) | | | | 720 | 2.2 |
| A.7 Cargos de laboratorio: (15% de Mano Obra de operación) | | | | 301 | 0.9 |
| A.8 Patentes & derechos: (3% del costo del producto) | | | | 1004 | 3.0 |
| B) Carga fija | | | | | |
| Impuestos locales: (1,5% capital fijo) | | | | 900 | 2.7 |
| Seguro: (0,7% de capital fijo) | | | | 420 | 1.3 |
| Depreciación: (10% del capital fijo) | | | | 6000 | 17.9 |
| C) Gastos generales de planta nómina y planta: | | | | | |
| Limpieza, servicio médico, seguridad y recreación, etc. | | | | | |
| 60% de (A2+A3+A5) | | | | 3545 | 10.6 |
| Costo Total de manufactura | | | MUS\$/Año | 33477 | 100.0 |
| Costo de producción al 100% de capacidad = | | | US\$/TM | 50.4 | |

6-1-2. Por el uso de carbón Nacional.

| | | | | | |
|--|----------------------|-----------|----------|--------|-------|
| Capacidad: | 664232 | TM/año | | | |
| Producción clínker por día: | 1942 | TPD | | | |
| Fecha estimación: | 2003 | | 325 días | | |
| Capital fijo: | 50100 | M US\$ | | | |
| Capital de trabajo: 20% | 10020 | M US\$ | | | |
| Inversión capital total: | 60120 | M US\$ | | | |
| Gastos de fabricación. | | | | | |
| A) Costos Directos | | | | | |
| | | | | M | |
| A.1 Materias primas | TPD | TM/Año | \$/TM | \$/año | % |
| Caliza alta | 1843 | 599072 | 2.50 | 1498 | 4.8 |
| Caliza baja | 802 | 260646 | 2.50 | 652 | 2.1 |
| Oxido Fierro | 104 | 33773 | 14.00 | 473 | 1.5 |
| Arcilla | 64 | 20920 | 12.00 | 251 | 0.8 |
| Combustible | 360 | 116987 | 55.00 | 6434 | 20.4 |
| Refractarios 1.2kg/TM clínker | 2 | 757.2 | 150.00 | 114 | 0.4 |
| A.2 Mano de obra de operación: 6 % del costo del producto. | | | | 1908 | 6.1 |
| A.3 Supervisión y mano de obra oficina: 15% de mano de obra | | | | 286 | 0.9 |
| Operación. | | | | | |
| A.4 Servicios | 150 Kwh / TM Cemento | | | | |
| Electricidad: Kwh / año | 1E+08 | 3.50 | c\$/KWH | 3487 | 11.1 |
| A.5 Mantenimiento y reparaciones (M&R): 6% del Capital fijo | | | | 3607.2 | 11.5 |
| A.6 Suministros de operación : 20% de M&R | | | | 721.44 | 2.3 |
| A.7 Cargos de laboratorio: 15% de Mano obra de operación | | | | 286 | 0.9 |
| A.8 Patentes & derechos: 3% del costo del producto. | | | | 954 | 3.0 |
| B) Carga fija | | | | | |
| Impuestos locales: 1,5% capital fijo | | | | 901.8 | 2.9 |
| Seguro: 0,7% del capital fijo | | | | 420.84 | 1.3 |
| Depreciación: 10% del capital fijo | | | | 6012 | 19.1 |
| C) Gastos generales de planta, nómina y planta: | | | | | |
| Limpieza general, pago de salarios, embalajes, servicio médico, seguridad y recreación, etc. | | | | | |
| 60% de (A2+ A3+ A5) | | | | 3481 | 11.1 |
| Costo Total de manufactura | | MUS\$/AÑO | | 31487 | 100.0 |
| Costo de producción al 100% de capacidad: | | US\$/TM | | 47.4 | |

6-2. Estados financieros proyectados.

Los estados financieros proyectados son las herramientas imprescindibles en la evaluación de proyectos de inversión, que determina la rentabilidad del total de de la inversión requerida para efectuar el proyecto, a continuación se proyecta el estudio para un periodo de 10 años tanto para el carbón importado como para el carbón nacional.

6-2-1. Por el uso de Carbón Importado.

Base de cálculo: 80.9 TPH de producción de clínker

6-2-1-1. Precio de materia prima y producto.

| (US\$ / TM) | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| MATERIA PRIMA | | | | | | | | | | |
| Caliza alta | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Caliza baja | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Oxido de Fierro | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 |
| Arcilla | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 |
| Combustible | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 |
| Refractarios | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 |
| PRODUCTO | | | | | | | | | | |
| Cemento | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 |

6-2-1-2. Programa de requerimientos y producción.

(Factor de planta = 1)

| (TPH) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| REQUERIMIENTOS | 123.0 | 123.0 | 123.0 | 123.0 | 123.0 | 123.0 | 123.0 | 123.0 | 123.0 | 123.0 |
| Caliza alta | 74.0 | 74.0 | 74.0 | 74.0 | 74.0 | 74.0 | 74.0 | 74.0 | 74.0 | 74.0 |
| Caliza baja | 38.8 | 38.8 | 38.8 | 38.8 | 38.8 | 38.8 | 38.8 | 38.8 | 38.8 | 38.8 |
| Oxido de Fierro | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 |
| Arcilla | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| Combustible | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 |
| Refractarios | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| PRODUCCION | | | | | | | | | | |
| Cemento | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 |

(Factor de planta = 0.95)

| (TPH) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| REQUERIMIENTOS | | | | | | | | | | |
| Caliza alta | 70.3 | 70.3 | 70.3 | 70.3 | 70.3 | 70.3 | 70.3 | 70.3 | 70.3 | 70.3 |
| Caliza baja | 36.9 | 36.9 | 36.9 | 36.9 | 36.9 | 36.9 | 36.9 | 36.9 | 36.9 | 36.9 |
| Oxido de Fierro | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 3.9 |
| Arcilla | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 5.7 | 5.7 |
| Combustible | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 9.9 |
| Refractarios | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| PRODUCCION | | | | | | | | | | |
| Cemento | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 |

6-2-1-3. Valor de ventas (MUS\$ del año 0)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
|-------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| PRODUCCION (TM / DC) | | | | | | | | | | | |
| Cemento | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | |
| PRECIO (US\$ / TM) | | | | | | | | | | | |
| Cemento | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | |
| MUS\$ / DC | | | | | | | | | | | |
| Cemento | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | |
| MUS\$ / ANO | 1 ANO = 325 | | DC | | | | | | | | |
| Cemento | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | |
| Total ventas MUS\$/ANO | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Materia prima (TM / DC) | | | | | | | | | | |
| Caliza alta | 1688 | 1688 | 1688 | 1688 | 1688 | 1688 | 1688 | 1688 | 1688 | 1688 |
| Caliza baja | 885 | 885 | 885 | 885 | 885 | 885 | 885 | 885 | 885 | 885 |
| Oxido de Fierro | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 |
| Arcilla | 137 | 137 | 137 | 137 | 137 | 137 | 137 | 137 | 137 | 137 |
| Combustible | 237 | 237 | 237 | 237 | 237 | 237 | 237 | 237 | 237 | 237 |
| Refractarios | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| US\$ / TM | | | | | | | | | | |
| Caliza alta | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Caliza baja | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Oxido de Fierro | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Arcilla | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Combustible | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 |
| Refractarios | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| MUS\$ / DC | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| MUS\$ / ANO | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 |

6-2-1-4. Costo de producción (MUS\$ DEL AÑO 0)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Costos directos (MUS\$ / AÑO) | | | | | | | | | | |
| Materia prima | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 | 10631 |
| Mano de obra operación | 2008 | 2008 | 2008 | 2008 | 2008 | 2008 | 2008 | 2008 | 2008 | 2008 |
| Supervisión y mano de obra | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| Servicios | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 |
| Mantenimiento y reparaciones | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 |
| Suministros de operación | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 | 720 |
| Cargos de laboratorio | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 | 301 |
| Patentes & derechos | 1004 | 1004 | 1004 | 1004 | 1004 | 1004 | 1004 | 1004 | 1004 | 1004 |
| Total costos directos | 22052 | 22052 | 22052 | 22052 | 22052 | 22052 | 22052 | 22052 | 22052 | 22052 |
| Costos indirectos (MUS\$ / AÑO) | | | | | | | | | | |
| Impuestos locales | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |
| Seguros | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 |
| Gastos generales de planta | 3545 | 3545 | 3545 | 3545 | 3545 | 3545 | 3545 | 3545 | 3545 | 3545 |
| Total costos indirectos | 4865 | 4865 | 4865 | 4865 | 4865 | 4865 | 4865 | 4865 | 4865 | 4865 |
| Costo total de producción | | | | | | | | | | |
| MUS\$ / AÑO | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 |

6-2-1-5. Capital de trabajo (MUS\$/AÑO)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Capital de trabajo | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| Δ EN CAP. DE TRABAJO | 10000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -10000 |

6-2-1-6. Estado de ganancias y pérdidas (MUSS / AÑO)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ingresos | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 |
| Egresos | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 | 26917 |
| Utilidad bruta | 29874 | 29874 | 29874 | 29874 | 29874 | 29874 | 29874 | 29874 | 29874 | 29874 |
| Gastos Generales (Overhead de planta) | | | | | | | | | | |
| Gastos Administrativos | 886 | 886 | 886 | 886 | 886 | 886 | 886 | 886 | 886 | 886 |
| Distribución y Ventas | 355 | 355 | 355 | 355 | 355 | 355 | 355 | 355 | 355 | 355 |
| Investigación y desarrollo | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 | 177 |
| Utilidad de operación | 28456 | 28456 | 28456 | 28456 | 28456 | 28456 | 28456 | 28456 | 28456 | 28456 |
| Depreciación | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 |
| Renta Neta | 22456 | 22456 | 22456 | 22456 | 22456 | 22456 | 22456 | 22456 | 22456 | 22456 |
| Impuesto Renta (30%) | 6737 | 6737 | 6737 | 6737 | 6737 | 6737 | 6737 | 6737 | 6737 | 6737 |
| Utilidad Neta | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 |

6-2-1-7. Flujo de caja proyectado (MUS\$ / AÑO)

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|--------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| INVERSIONES | | | | | | | | | | | |
| Propia | 50000 | | | | | | | | | | |
| Valor de rescate | | | | | | | | | | | -10000 |
| Δ EN CAP. DE TRABAJO | | 10000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -10000 |
| TOTAL | 50000 | 10000 | 0 | -20000 |
| Utilidad Neta | | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 | 15719 |
| Depreciación | | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 | | 6000 | 6000 |
| Flujo neto de fondos | -50000 | 11719 | 21719 | 21719 | 21719 | 21719 | 21719 | 21719 | 21719 | 21719 | 41719 |

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| VPNA | -50000 | -39629 | -22619 | -7567 | 5754 | 17543 | 27975 | 37207 | 45377 | 52607 | 64897 |

VPNA = Valor presente acumulado

6-2-1-8. Criterios de evaluación de inversiones.

Costo de oportunidad del dinero TD = 0.13

1. Valor presente neto (VPN)

Criterio: Si el $VPN > 0$ el proyecto es rentable

VPN = 64897

2. Tasa interna de retorno (TIR)

Criterio: Si la $TIR > TD$ el proyecto es rentable.

TIR = 37%

3. Tiempo de recupero

Recupero = 3.5 AÑOS

4. Relación beneficio costo.

Criterio: Si $B/C > 1$ el proyecto es rentable.

Valor presente de los beneficios = 308166

Valor presente de los costos = 243269

Relación B/C = VPB/VPC = 1.27

6-2-2. Por el uso de Carbón Nacional.

Base de cálculo: 80.9 TPH de producción de clinker

6-2-2-1. Precio de materia prima y producto.

| (US\$ / TM) | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| MATERIA PRIMA | | | | | | | | | | |
| Caliza alta | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Caliza baja | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Oxido de Fierro | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 |
| Arcilla | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 |
| Combustible | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 |
| Refractarios | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 | 150.0 |
| PRODUCTO | | | | | | | | | | |
| Cemento | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 |

6-2-2-2. Programa de requerimientos y producción.

(Factor de planta = 1)

| (TM / h) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| REQUERIMIENTOS | 117.2 | 117.2 | 117.2 | 117.2 | 117.2 | 117.2 | 117.2 | 117.2 | 117.2 | 117.2 |
| Caliza alta | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 | 76.8 |
| Caliza baja | 33.4 | 33.4 | 33.4 | 33.4 | 33.4 | 33.4 | 33.4 | 33.4 | 33.4 | 33.4 |
| Oxido de Fierro | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 |
| Arcilla | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.7 |
| Combustible | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| Refractarios | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| PRODUCCION | | | | | | | | | | |
| Cemento | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 | 85.2 |

(Factor de planta = 0.95)

| (TM / h) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| REQUERIMIENTOS | | | | | | | | | | |
| Caliza alta | 73.0 | 73.0 | 73.0 | 73.0 | 73.0 | 73.0 | 73.0 | 73.0 | 73.0 | 73.0 |
| Caliza baja | 31.7 | 31.7 | 31.7 | 31.7 | 31.7 | 31.7 | 31.7 | 31.7 | 31.7 | 31.7 |
| Oxido de Fierro | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.1 |
| Arcilla | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Combustible | 14.2 | 14.2 | 14.2 | 14.2 | 14.2 | 14.2 | 14.2 | 14.2 | 14.2 | 14.2 |
| Refractarios | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| PRODUCCION | | | | | | | | | | |
| Cemento | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 | 80.9 |

6-2-2-3. Valor de ventas (MUS\$ del año 0)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PRODUCCION (TM / DC) | | | | | | | | | | |
| Cemento | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 | 1942 |
| PRECIO (US\$ / TM) | | | | | | | | | | |
| Cemento | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| MUS\$ / DC | | | | | | | | | | |
| Cemento | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| MUS\$ / AÑO 1 AÑO = 325 DC | | | | | | | | | | |
| Cemento | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 |
| Total ventas MUS\$/AÑO | 56792 |

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Materia prima (TM / DC) | | | | | | | | | | |
| Caliza alta | 1751 | 1751 | 1751 | 1751 | 1751 | 1751 | 1751 | 1751 | 1751 | 1751 |
| Caliza baja | 762 | 762 | 762 | 762 | 762 | 762 | 762 | 762 | 762 | 762 |
| Oxido de Fierro | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 |
| Arcilla | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 |
| Combustible | 342 | 342 | 342 | 342 | 342 | 342 | 342 | 342 | 342 | 342 |
| Refractarios | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| US\$ / TM | | | | | | | | | | |
| Caliza alta | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Caliza baja | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Oxido de Fierro | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Arcilla | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Combustible - | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| Refractarios | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| MUS\$ / DC | 28 |
| MUS\$ / AÑO | 8950 |

6-2-2-4. Costo de producción (MUS\$ DEL AÑO 0)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Costos directos (MUS\$ / AÑO) | | | | | | | | | | |
| Materia prima | 8950 | 8950 | 8950 | 8950 | 8950 | 8950 | 8950 | 8950 | 8950 | 8950 |
| Mano de obra operación | 1908 | 1908 | 1908 | 1908 | 1908 | 1908 | 1908 | 1908 | 1908 | 1908 |
| Supervisión y mano de obra | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 |
| Servicios | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 | 3487 |
| Mantenimiento y reparaciones | 3607 | 3607 | 3607 | 3607 | 3607 | 3607 | 3607 | 3607 | 3607 | 3607 |
| Suministros de operación | 721 | 721 | 721 | 721 | 721 | 721 | 721 | 721 | 721 | 721 |
| Cargos de laboratorio | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 |
| Patentes & derechos | 954 | 954 | 954 | 954 | 954 | 954 | 954 | 954 | 954 | 954 |
| Total costos directos | 20200 |
| Costos indirectos (MUS\$ / AÑO) | | | | | | | | | | |
| Impuestos locales | 902 | 902 | 902 | 902 | 902 | 902 | 902 | 902 | 902 | 902 |
| Seguros | 421 | 421 | 421 | 421 | 421 | 421 | 421 | 421 | 421 | 421 |
| Gastos generales de planta | 3481 | 3481 | 3481 | 3481 | 3481 | 3481 | 3481 | 3481 | 3481 | 3481 |
| Total costos indirectos | 4803 |
| Costo total de producción | | | | | | | | | | |
| MUS\$ / AÑO | 25004 |

6-2-2-5. Capital de trabajo (MUS\$/AÑO)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Capital de trabajo | 10020 | 10020 | 10020 | 10020 | 10020 | 10020 | 10020 | 10020 | 10020 | 10020 |
| Δ EN CAP. DE TRABAJO | 10020 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -10020 |

6-2-2-6. Estado de ganancias y pérdidas (MUS\$ / AÑO)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ingresos | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 | 56792 |
| Egresos | 25004 | 25004 | 25004 | 25004 | 25004 | 25004 | 25004 | 25004 | 25004 | 25004 |
| Utilidad bruta | 31788 | 31788 | 31788 | 31788 | 31788 | 31788 | 31788 | 31788 | 31788 | 31788 |
| Gastos Generales (Overhead de planta) | | | | | | | | | | |
| Gastos Administrativos | 870 | 870 | 870 | 870 | 870 | 870 | 870 | 870 | 870 | 870 |
| Distribución y Ventas | 348 | 348 | 348 | 348 | 348 | 348 | 348 | 348 | 348 | 348 |
| Investigación y desarrollo | 174 | 174 | 174 | 174 | 174 | 174 | 174 | 174 | 174 | 174 |
| Utilidad de operación | 30396 | 30396 | 30396 | 30396 | 30396 | 30396 | 30396 | 30396 | 30396 | 30396 |
| Depreciación | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 |
| Renta Neta | 24384 | 24384 | 24384 | 24384 | 24384 | 24384 | 24384 | 24384 | 24384 | 24384 |
| Impuesto Renta (30%) | 7315 | 7315 | 7315 | 7315 | 7315 | 7315 | 7315 | 7315 | 7315 | 7315 |
| Utilidad Neta | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 |

6-2-2-7. Flujo de caja proyectado (MUS\$ / AÑO)

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| INVERSIONES | | | | | | | | | | | |
| Propia | 50100 | | | | | | | | | | |
| Valor de rescate | | | | | | | | | | | -10000 |
| Δ EN CAP. DE TRABAJO | | 10020 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -10020 |
| TOTAL | 50100 | 10020 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -20020 |
| Utilidad Neta | | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 | 17069 |
| Depreciación | | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 | 6012 |
| Flujo neto de fondos | -50100 | 13061 | 23081 | 23081 | 23081 | 23081 | 23081 | 23081 | 23081 | 23081 | 43101 |

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| VPNA | -50100 | -38542 | -20466 | -4470 | 9686 | 22213 | 33299 | 43110 | 51792 | 59475 | 72172 |

VPNA = Valor presente acumulado

6-2-2-8. Criterios de evaluación de inversiones.

Costo de oportunidad del dinero TD = 0.13

1. Valor presente neto (VPN)

Criterio: Si el VPN > 0 el proyecto es rentable
VPN = 72172

2. Tasa interna de retorno (TIR)

Criterio: Si la TIR > TD el proyecto es rentable.
TIR = 39%

3. Tiempo de recupero

Recupero = 3.3 AÑOS

4. Relación beneficio / costo

Criterio: Si B/C > 1 el proyecto es rentable.

Valor presente de los beneficios = 308166
Valor presente de los costos = 235994

RELACION B/C = VPB/VPC = 1.31

6-3. Evaluación de alternativas e inversiones.

6-3-1. Evaluación de alternativas

a. Uso de Carbón Importado

| ANO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| INVERSION | -50,000 | | | | | | | | | | |
| INGRESOS | | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 |
| VALOR RESCATE | | | | | | | | | | | 20,000 |
| EGRESOS | | -45,072 | -35,072 | -35,072 | -35,072 | -35,072 | -35,072 | -35,072 | -35,072 | -35,072 | -35,072 |
| FNF | -50,000 | 11,719 | 21,719 | 21,719 | 21,719 | 21,719 | 21,719 | 21,719 | 21,719 | 21,719 | 41,719 |

| | |
|------------|---------|
| VPN (1-10) | 114,897 |
| PRIMER AÑO | -50,000 |
| VPN TOTAL | 64,897 |

b. Uso de Carbón Nacional

| ANO | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| INVERSION | -50,100 | | | | | | | | | | |
| INGRESOS | | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 | 56,792 |
| VALOR RESCATE | | | | | | | | | | | 20,020 |
| EGRESOS | | -43,731 | -33,711 | -33,711 | -33,711 | -33,711 | -33,711 | -33,711 | -33,711 | -33,711 | -33,711 |
| FNF | -50,100 | 13,061 | 23,081 | 23,081 | 23,081 | 23,081 | 23,081 | 23,081 | 23,081 | 23,081 | 43,101 |

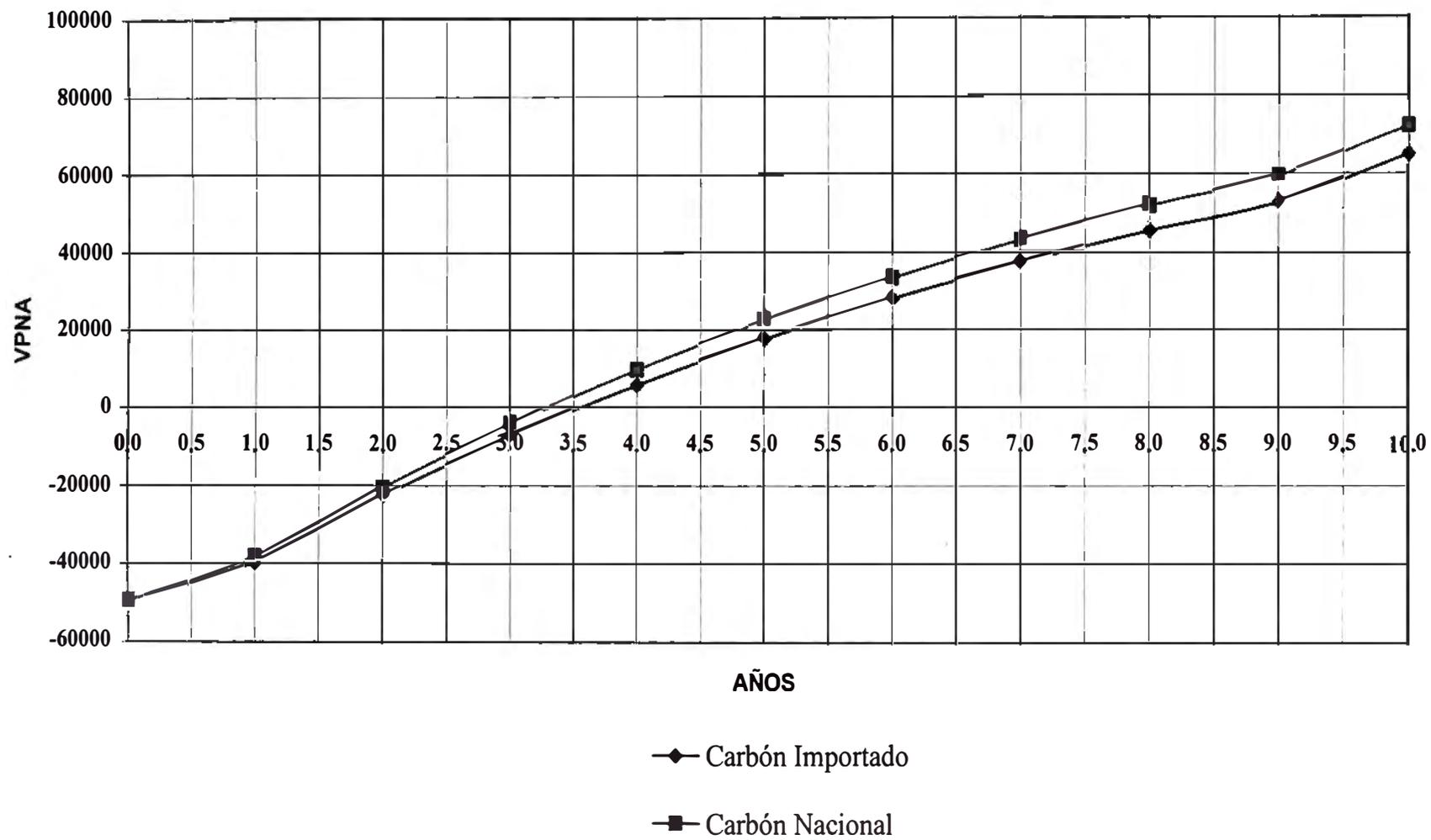
| | |
|------------|---------|
| VPN (1-10) | 122,272 |
| PRIMER AÑO | -50,100 |
| VPN TOTAL | 72,172 |

Por tanto se prefiere el uso de Carbón Nacional

6-3-2. Comparación de los criterios de evaluación de inversiones.

| | Uso de Carbón Importado | Uso de Carbón Nacional |
|---|-------------------------|------------------------|
| Costo de Manufactura (US\$/TM Cemento) | 50.4 | 47.4 |
| Valor Presente Neto | 64897 | 72172 |
| Tasa Interna de Retorno | 37% | 39% |
| Tiempo de recupero | 3.50 | 3.30 |
| Beneficio / Costo | 1.27 | 1.31 |

Gráfico N° 1: Tiempo de recuperación



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Respecto a las consideraciones técnicas en la quema de Carbón Nacional

1. Es importante aumentar la molienda del carbón, la granulometría del retenido en malla de 90 micras debe ser disminuido del 10 % a 2 %, esto es consecuencia de la disminución de los volátiles del 30 % al 15 %.
2. Otra consideración para aumentar la molienda es mejorar la combustión debido a la facilidad de quemado en los hornos.
3. Por la ubicación de la planta sobre los 3850 msnm, por la disminución de volátiles y por la baja densidad del aire, es necesario incrementar el exceso de aire en la cámara de enlace de los hornos de 3 a 5 % hasta un rango de 5% a 8% de exceso.
4. Debido a que este tipo de carbón corresponde a la clase Sub bituminoso, la dureza es menor que el Carbón Importado, en consecuencia se necesita menor energía necesaria en Kwh / TM para llevar acabo la molienda.
5. Para mejorar la llama es necesario incrementar la presión de aire en los quemadores, de 120 mb a 280 mb como mínimo, para compensar la disminución de volátiles en el Carbón Nacional, con la respectiva sustitución del ventilador convencional del aire primario con otro compresor de media presión.
6. Por tanto, todas estas consideraciones técnicas salvadas nos llevan a la conclusión final de la factibilidad de la quema de Carbón Nacional.

Respecto a la elaboración del crudo y el clínker producido.

1. Fue necesario la modificación del crudo alimentado, por la regla de mezclas (Blending) se concluye que se necesita menos cantidad de arcilla en el crudo inicial, disminuye de 4.9% a 2.3%, esta diferencia es compensada por el alto porcentaje de cenizas del Carbón Nacional, una de las consideraciones que hace atractivo el estudio.
2. El consumo total de caliza de alta ley, la caliza de baja ley, así como el óxido de fierro, sufren ligeras variaciones por las características propias del Carbón Nacional e Importado.

3. La Saturación de cal LSF, se incrementa de 96% a 113%, lo que dificulta la quemabilidad del crudo, esto implica que la fase líquida necesariamente debe ser proporcionada por los fundentes provenientes de las cenizas de carbón.
4. La calidad del clínker disminuye ligeramente, al disminuir el C₃S de 65% a 60%, pero el incremento de C₂S de 15% a 20% compensa la calidad del clínker.
5. En la fabricación del clínker, el contenido de cenizas se incorpora a la materia prima en reemplazo de la arcilla.

Respecto a los Beneficios económicos del estudio

1. Se logra un ahorro básicamente por una disminución en el consumo de arcilla en 50 centavos de dólar por tonelada métrica de cemento.
2. Se logra un ahorro por el bajo precio de la tonelada métrica del Carbón Nacional en 200 centavos de dólar por tonelada métrica de cemento.
3. El incremento de la inversión en 100,000 dólares Americanos en capital fijo, para la modificación del quemador y las balanzas de carbón, es justificado por un tiempo de recupero menor a un año.
4. Esta inversión en capital fijo, por la modificación de las balanzas se debe al incremento del flujo de combustible.
5. La relación beneficio / costo se incrementa de 1.27 a 1.31 por el uso de Carbón Nacional.

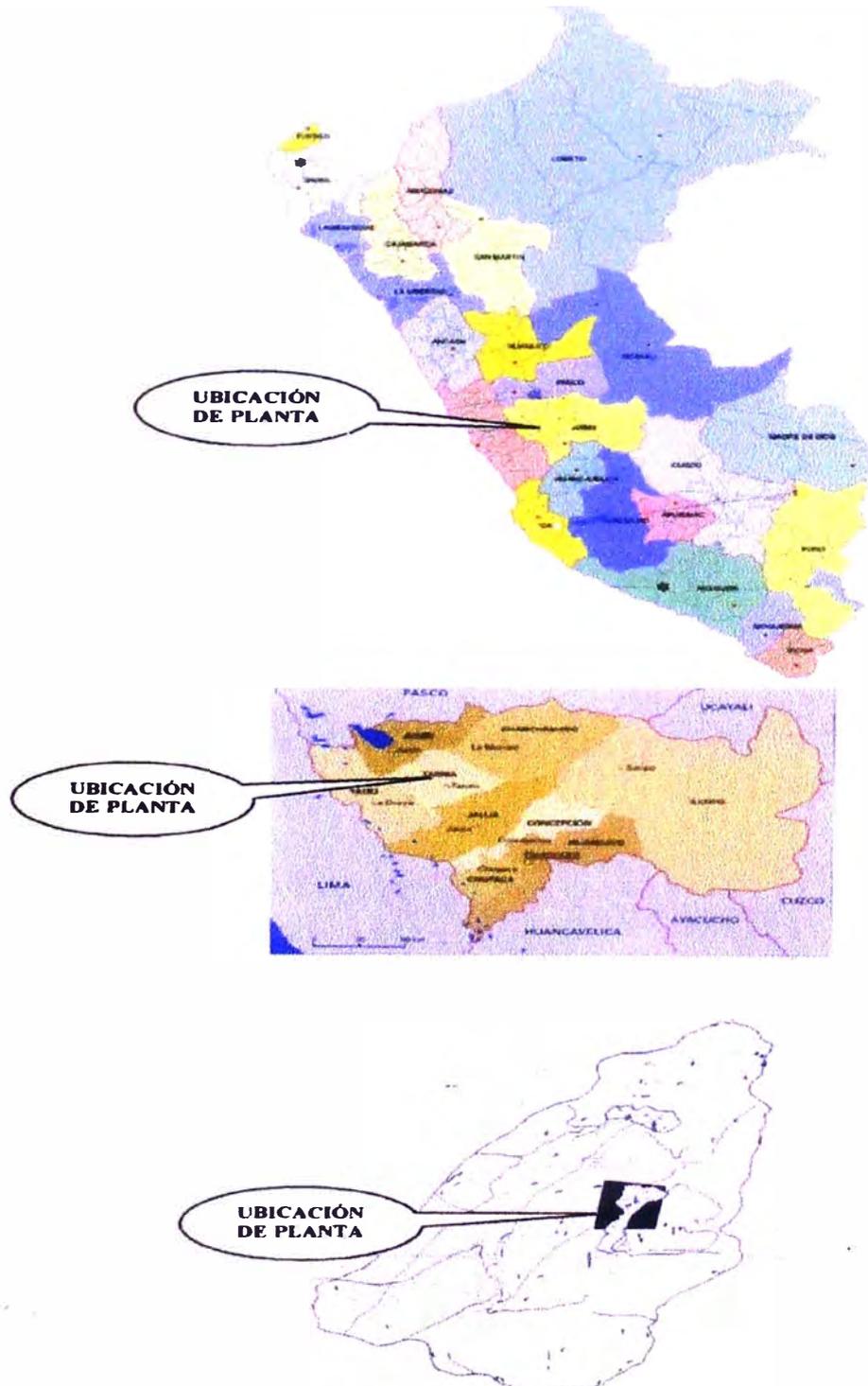
8. BIBLIOGRAFÍA

1. Araujo R. - Fabricación de clínker para cemento - 3ra. Edición - México, 2000
2. Duda W. - Manual Tecnológico del cemento - Editores técnicos asociados - Barcelona, 1977
3. Ghosh S.-Yadav S. - Energy conservation and environmental control in cement industry - First edition - Vol. 2, Part 1. - Printed by Rekha Printers Pvt. – 1996
4. Greco C. – Combustión en hornos rotatorios – Térmica e Fluidos Consultoria Ltda. – 2da. Edición – Sao Paulo Brasil - 2001
5. Himmelblau D. - Balances de materia y energía – 4ta. Edición – México 1988
6. Holderbank - Seminario de Cemento -Balance térmico - Organizado por Holderbank Administración y Asesoría S.A – 1979
7. Holderbank - Seminario de Optimización de hornos - Curso Avanzado de Operación de Hornos – Organizado por Cosapi, S.A. Lima Perú -1991
8. Smidth F.L. - Institute - Proceso y Operación de Sistemas de hornos - Tomo 1, 2002

9. ANEXOS.

Anexo 1

Plano de Ubicación de la Empresa Cemento Andino S.A.



Anexo 2

Zonas y reacciones químicas ocurridas en el horno en la formación del clínker.

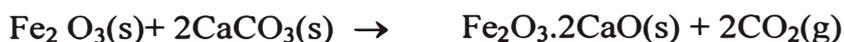
Un horno rotativo que opera por el método de vía seca, consta de las siguientes zonas:

- a) Zona fría, conformada por la boca de carga y la zona de calcinación (800-1200°C).
- b) Zona intermedia, constituida por la zona de sinterización (1200-1400°C)
- c) Zona caliente, formada por la zona de clinkerización y la boca de descarga (1400-1600°C).

Las reacciones químicas que se producen durante el proceso son complejas, a continuación detallamos las reacciones más representativas:

1) El crudo está formado de arcilla $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y cal CaCO_3 . La impureza más significativa es Fe_2O_3 .

2) A 500°C se descompone la arcilla y comienza reaccionar con la cal.



3) A 1000°C continúa la descomposición y reacción entre la cal y la arcilla.



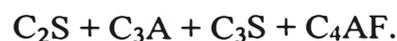
4) A 1400°C se consolida la reacción de clinkerización:



5) El clínker está compuesto principalmente a 20°C.



Que en terminología de cemento se expresa así:



Anexo 3: Producción de clínker.

A. Producción de clínker fino.

| Tiempo horas Parcial | Tiempo horas Acumulado | Peso TM Parcial | Peso TM Acumulado | TPH |
|----------------------|------------------------|-----------------|-------------------|------|
| 0.6 | 0.6 | 9.3 | 9.3 | 16.3 |
| 1.2 | 1.8 | 8.9 | 18.1 | 10.2 |
| 1.0 | 2.8 | 10.6 | 28.8 | 10.3 |
| 1.1 | 3.9 | 9.2 | 38.0 | 9.7 |
| 1.4 | 5.3 | 10.3 | 48.3 | 9.1 |
| 0.9 | 6.2 | 9.9 | 58.2 | 9.4 |
| 0.6 | 6.8 | 9.0 | 67.1 | 9.8 |
| 1.1 | 7.9 | 8.0 | 75.1 | 9.5 |
| 0.6 | 8.5 | 10.2 | 85.3 | 10.0 |
| 1.0 | 9.5 | 10.8 | 96.1 | 10.1 |
| 0.7 | 10.2 | 9.3 | 105.4 | 10.3 |
| 0.6 | 10.8 | 12.7 | 118.1 | 10.9 |
| 1.2 | 12.0 | 11.6 | 129.7 | 10.8 |
| 1.0 | 13.0 | 9.1 | 138.8 | 10.7 |
| 0.9 | 13.9 | 9.7 | 148.5 | 10.7 |
| 1.4 | 15.3 | 13.3 | 161.8 | 10.6 |
| 1.4 | 16.7 | 12.7 | 174.5 | 10.4 |
| 1.2 | 17.9 | 10.3 | 184.8 | 10.3 |
| 1.2 | 19.1 | 9.6 | 194.4 | 10.2 |
| 0.8 | 19.9 | 13.3 | 207.7 | 10.5 |
| 1.0 | 20.9 | 10.2 | 217.9 | 10.4 |
| 0.9 | 21.8 | 9.8 | 227.8 | 10.5 |
| 1.1 | 22.8 | 11.2 | 239.0 | 10.5 |
| 1.0 | 23.8 | 6.2 | 245.1 | 10.3 |
| 0.2 | 24.0 | 8.0 | 253.2 | 10.5 |

Tiempo de prueba: 24.0 H
 Producción : 253.2 T
 10.5 TPH

Anexo 3: Producción de clínker.

B. Producción de clínker grueso.

| Tiempo horas Parcial | Tiempo horas Acumulado | Peso TM Parcial | Peso TM Acumulado | TPH |
|----------------------|------------------------|-----------------|-------------------|------|
| 0.3 | 0.3 | 19.0 | 19.0 | 75.9 |
| 0.3 | 0.5 | 18.8 | 37.8 | 70.8 |
| 0.3 | 0.8 | 19.7 | 57.5 | 70.3 |
| 0.2 | 1.1 | 18.7 | 76.2 | 72.6 |
| 0.3 | 1.3 | 18.6 | 94.8 | 72.0 |
| 0.3 | 1.6 | 19.1 | 113.9 | 71.2 |
| 0.3 | 1.9 | 17.9 | 131.8 | 71.2 |
| 0.3 | 2.1 | 18.0 | 149.8 | 71.3 |
| 0.3 | 2.4 | 17.8 | 167.6 | 71.3 |
| 0.3 | 2.6 | 17.5 | 185.1 | 71.2 |
| 0.3 | 2.9 | 17.6 | 202.7 | 70.7 |
| 0.3 | 3.1 | 17.7 | 220.4 | 70.7 |
| 0.3 | 3.4 | 17.3 | 237.7 | 70.6 |
| 0.3 | 3.6 | 18.3 | 256.0 | 70.8 |
| 0.3 | 3.9 | 17.8 | 273.8 | 70.2 |
| 0.3 | 4.2 | 17.3 | 291.1 | 69.6 |
| 0.3 | 4.4 | 18.0 | 309.1 | 69.7 |
| 0.2 | 4.7 | 17.4 | 326.5 | 70.0 |
| 0.3 | 4.9 | 16.7 | 343.2 | 69.8 |
| 0.3 | 5.2 | 17.6 | 360.8 | 69.6 |
| 0.3 | 5.4 | 18.7 | 379.4 | 69.8 |
| 0.2 | 5.7 | 16.1 | 395.6 | 70.0 |
| 0.3 | 5.9 | 18.1 | 413.7 | 69.9 |
| 0.3 | 6.2 | 17.7 | 431.4 | 70.0 |
| 0.2 | 6.4 | 17.0 | 448.4 | 70.1 |
| 0.3 | 6.7 | 18.3 | 466.7 | 70.0 |
| 0.3 | 6.9 | 17.8 | 484.5 | 69.9 |
| 0.3 | 7.2 | 17.5 | 502.0 | 69.7 |
| 0.2 | 7.4 | 17.8 | 519.8 | 69.9 |
| 0.3 | 7.7 | 17.9 | 537.6 | 70.0 |
| 0.3 | 7.9 | 17.9 | 555.6 | 70.0 |
| 0.3 | 8.2 | 18.3 | 573.9 | 70.1 |
| 0.2 | 8.4 | 19.1 | 592.9 | 70.6 |

Anexo 3: Producción de clínker.

B. Producción de clínker grueso – continuación.

| Tiempo horas | Tiempo horas | Peso TM | Peso TM | TPH |
|--------------|--------------|---------|-----------|------|
| Parcial | Acumulado | Parcial | Acumulado | |
| 0.3 | 8.7 | 18.7 | 611.6 | 70.3 |
| 0.3 | 9.0 | 18.2 | 629.7 | 70.4 |
| 0.2 | 9.2 | 18.1 | 647.9 | 70.6 |
| 0.3 | 9.5 | 17.1 | 665.0 | 70.4 |
| 0.2 | 9.7 | 16.9 | 681.8 | 70.4 |
| 0.3 | 10.0 | 17.1 | 699.0 | 70.2 |
| 0.3 | 10.2 | 16.8 | 715.8 | 70.2 |
| 0.3 | 10.5 | 15.5 | 731.4 | 69.9 |
| 0.3 | 10.8 | 16.4 | 747.7 | 69.6 |
| 0.3 | 11.1 | 16.3 | 764.0 | 69.1 |
| 0.2 | 11.2 | 16.5 | 780.4 | 69.5 |
| 0.2 | 11.5 | 17.5 | 797.9 | 69.6 |
| 0.2 | 11.7 | 17.0 | 814.9 | 69.7 |
| 0.3 | 12.0 | 17.6 | 832.6 | 69.7 |
| 0.2 | 12.2 | 17.4 | 850.0 | 69.8 |
| 0.2 | 12.4 | 16.5 | 866.5 | 69.8 |
| 0.2 | 12.7 | 17.7 | 884.1 | 69.9 |
| 0.2 | 12.9 | 18.2 | 902.4 | 70.0 |
| 0.2 | 13.1 | 17.4 | 919.8 | 70.1 |
| 0.3 | 13.4 | 17.0 | 936.8 | 70.0 |
| 0.2 | 13.6 | 17.5 | 954.3 | 70.1 |
| 0.3 | 13.9 | 17.4 | 971.7 | 70.1 |
| 0.2 | 14.1 | 16.7 | 988.4 | 70.1 |
| 0.3 | 14.4 | 18.3 | 1006.7 | 70.2 |
| 0.2 | 14.6 | 17.7 | 1024.4 | 70.2 |
| 0.3 | 14.8 | 19.0 | 1043.4 | 70.3 |
| 0.3 | 15.1 | 18.4 | 1061.8 | 70.4 |
| 0.3 | 15.3 | 17.4 | 1079.3 | 70.4 |
| 0.3 | 15.6 | 19.6 | 1098.8 | 70.4 |
| 0.2 | 15.8 | 17.9 | 1116.7 | 70.5 |
| 0.2 | 16.1 | 18.4 | 1135.0 | 70.6 |
| 0.3 | 16.3 | 19.2 | 1154.2 | 70.7 |
| 0.3 | 16.6 | 18.5 | 1172.7 | 70.6 |

Anexo 3: Producción de clínker.

B. Producción de clínker grueso – continuación.

| Tiempo horas | Tiempo horas | Peso TM | Peso TM | TPH |
|--------------|--------------|---------|-----------|------|
| Parcial | Acumulado | Parcial | Acumulado | |
| 0.3 | 16.9 | 18.7 | 1191.4 | 70.6 |
| 0.3 | 17.2 | 18.5 | 1209.9 | 70.5 |
| 0.3 | 17.4 | 18.0 | 1227.9 | 70.5 |
| 0.3 | 17.7 | 18.4 | 1246.3 | 70.5 |
| 0.2 | 17.9 | 18.5 | 1264.8 | 70.6 |
| 0.3 | 18.2 | 18.2 | 1283.0 | 70.5 |
| 0.3 | 18.5 | 17.8 | 1300.8 | 70.4 |
| 0.3 | 18.7 | 18.0 | 1318.8 | 70.4 |
| 0.3 | 19.0 | 19.1 | 1337.9 | 70.4 |
| 0.3 | 19.3 | 18.0 | 1355.9 | 70.4 |
| 0.3 | 19.6 | 18.7 | 1374.5 | 70.3 |
| 0.3 | 19.8 | 17.5 | 1392.0 | 70.3 |
| 0.3 | 20.1 | 17.7 | 1409.7 | 70.3 |
| 0.3 | 20.3 | 18.2 | 1427.9 | 70.3 |
| 0.3 | 20.6 | 19.2 | 1447.1 | 70.4 |
| 0.3 | 20.9 | 18.9 | 1466.0 | 70.3 |
| 0.3 | 21.1 | 18.8 | 1484.8 | 70.3 |
| 0.3 | 21.4 | 19.3 | 1504.0 | 70.3 |
| 0.2 | 21.6 | 18.5 | 1522.5 | 70.4 |
| 0.3 | 22.0 | 18.5 | 1540.9 | 70.2 |
| 0.3 | 22.2 | 18.6 | 1559.6 | 70.2 |
| 0.2 | 22.5 | 17.4 | 1576.9 | 70.2 |
| 0.3 | 22.7 | 18.7 | 1595.6 | 70.2 |
| 0.3 | 23.0 | 18.6 | 1614.2 | 70.2 |
| 0.3 | 23.2 | 17.3 | 1631.5 | 70.2 |
| 0.2 | 23.5 | 17.1 | 1648.6 | 70.3 |
| 0.3 | 23.7 | 19.4 | 1668.1 | 70.3 |
| 0.2 | 23.9 | 15.4 | 1683.5 | 70.3 |
| 0.1 | 24.0 | 6.0 | 1689.5 | 70.4 |

Prueba: 24.0 H
 Producción: 1689.5 T
 70.4 TPH

Anexo 4: Abreviaturas

1. SP: Horno solamente con pre calentador.
2. ILC-E: Horno en línea con el calcinador con exceso de aire.
3. ILC: Horno en línea con el calcinador.
4. SLC: Horno separado del calcinador.
5. TAG: Torre de acondicionamiento de gases
6. C₃S: Silicato tricálcico.
7. C₂S: Silicato dicálcico.
8. C₃A: Aluminato tricálcico.
9. C₄AF: Ferroaluminato tetracálcico.
10. LSF: Saturación de cal.
11. MS: Módulo de Sílice.
12. MA: Módulo de Alúmina.