

## 6. INGENIERIA DE PROCESAMIENTO

### 6.1 Sumario y comentarios generales

La ingeniería de proceso preliminar se funda en una planta con un volumen de producción de clinker anual de un millón de toneladas de Cemento del Tipo I, ASTM (Portland normal). El horno característico destinado a dicha planta tendrá una capacidad de 3,200 toneladas diarias.

El cemento podrá ser elaborado con altos niveles internacionales de calidad, a través del método seco o húmedo. El coste de capital de la planta que funciona con método húmedo es, generalmente, más bajo que el del seco, aunque el proceso húmedo consumirá 0.67 toneladas de agua por cada tonelada elaborada de clinker. Más significativo, es el hecho de que habrá que sacar el exceso de agua durante las primeras fases de elaboración del clinker, lo que obliga a que el consumo de combustible sea un 50% mayor al de la variante del método seco. Para una planta de un millón de toneladas anuales, esto significa un aumento del coste de combustible anual de más de US\$ 4 millones. Por esta razón, se recomienda una planta de método seco.

Dado que las materias primas tienen aproximadamente un 20% de humedad, no se consigue el calor suficiente en el horno y los gases de escape del enfriador para un completo secado, y de aquí que se necesite más calor. Este será suministrado por un generador de gas caliente que inyectará gases calientes a la entrada del crudo.

El contenido de humedad de la caliza es bastante alto y afecta seriamente al diseño de proceso, además de los costes de operación previstos.

### 6.2 Materias primas

Los resultados de la exploración geológica aconsejan que se utilice una mezcla compuesta de los cuatro componentes siguientes: caliza, arcilla, arena y laterita. Los valores de la mezcla de materias primas demuestran que se puede elaborar un Cemento Portland Ordinario de buena calidad, empleando los materiales disponibles. El contenido de álcalis (formulado como el equivalente al sodio), estará, aún, por encima del 0.6% del nivel seleccionado, como el valor límite para la clasificación, en cuanto a un cemento de "baja alcalinidad" se refiere. La Tabla 6-1 muestra los típicos análisis llevados a cabo en la materia prima, y el Apéndice EF2 muestran los cálculos de las mezclas para los que se ha utilizado un sistema software de la propia empresa, para hornos que queman combustible de carbón (motivando la absorción de cenizas desprendidas del carbón) y petróleo (sin ceniza).

Se sabe que existen tres grados de caliza en el depósito, y que el plan de explotación ha sido desarrollado de tal manera que se puede utilizar completamente todo el material del depósito, siempre y cuando se mantenga un valor de composición constante. La cantidad de material que se calcula que existe en el depósito es suficiente para albergar una unidad de producción de 1 millón de toneladas anuales durante 45 años. Se han sacado los promedios de los resultados obtenidos a raíz de los análisis de las muestras tomadas de los 28 sondeos de las reservas, con el propósito de incluirlos dentro de este capítulo del informe.

El área de la concesión adyacente a la zona de la planta proporcionará la arcilla necesaria, y se ha identificado también que existe una fuente de arena próxima a la planta. El conocimiento de este hecho se funda en los análisis representativos llevados a cabo.

Asimismo, a raíz de estos análisis, se pudo averiguar que existe una fuente de laterita.

**Tabla EF-13**  
**Análisis de Materia Prima**

	<b>Caliza</b>	<b>Arcilla Local</b>	<b>Arena</b>	<b>Laterita</b>
% SiO <sub>2</sub>	4.210	43.430	90.480	43.860
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.190	11.570	4.630	10.850
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.750	7.780	4.540	32.880
% CaO	50.950	12.240	0.120	1.110
% MgO	0.770	4.940	0.180	2.530
% Na <sub>2</sub> O	0.110	1.450	0.170	0.240
% K <sub>2</sub> O	0.090	1.240	0.860	0.070
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.050	0.110	0.010	0.090
% Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.020	0.080	0.080	0.420
% TiO <sub>2</sub>	0.080	0.790	0.250	0.730
% S			0.012	
% Cl			0.018	

### 6.3 Volumen del material y diagrama de bloques

El apéndice EF3 muestra la capacidad de elaboración y los volúmenes de almacenaje para varias unidades de producción. La capacidad de producción anual de un millón de toneladas de clinker es la base de los cálculos (según el estudio de mercado llevado a cabo).

Para asegurar que se mantiene una alimentación constante en el horno y que ninguna de las paradas en el circuito afecta la alimentación de éste ni el volumen de suministro al cliente, se ha incorporado un factor de seguridad para el nivel de producción y de almacenamiento.

De la necesidad de producir 1 millón de toneladas anuales de clinker, y de mantener el 86% de disponibilidad del horno, se necesita obtener una producción nominal de 3,200 toneladas diarias. (Si el horno funciona a un 86%, este porcentaje permitirá que se pare durante 35 días al año, con motivo de llevar a cabo el mantenimiento previsto, dando por hecho de que se llegará a alcanzar el 95% de la producción calculada durante el resto del tiempo con el fin de cubrir los periodos de averías impredecibles y los problemas operacionales).

La cantidad de materia prima necesaria para cubrir la producción de este horno se ha calculado en base a 1.6 toneladas de materia prima seca, que será necesaria para cada una de las toneladas de clinker elaborado. Es evidente que se necesita recibir 35,840 toneladas de materia prima semanalmente.

El volumen necesario para las diferentes materias primas, se calcula según las proporciones obtenidas de los cálculos de las mezclas de las materias que alimentan la planta. La caliza forma el 77.93% de la mezcla de estos materiales (en seco) y contiene el 20% de humedad.

Es necesario que se obtenga un valor de explotación y triturado de 560 toneladas a la hora, y así proporcionar la caliza suficiente durante 90 horas de trabajo semanal. Para realizar estos cálculos, se ha utilizado un factor de seguridad del 1.5, con el fin de cubrir el tiempo de molienda y la indisponibilidad del equipo, etc. De forma similar, se necesitarán 130 toneladas durante la explotación y la molienda de las arcillas. Debido a que está previsto que la arcilla y la mayor parte de la caliza se muelan juntas, se necesitará disponer de una sola molienda con capacidad de producción de 700 toneladas a la hora. La capacidad de funcionamiento del equipo correspondiente que trabaja con las materias primas, se mide con un factor de seguridad del 1.25 para mantener el bombeo del material, etc. y las variaciones en las salidas de la trituradora. El volumen de almacenaje para la caliza y arcilla, está calculado en base a que se obtenga material suficiente durante 7 días de funcionamiento continuo del horno, y parece que se necesita una capacidad combinada de 40,000 toneladas. El volumen de suministro, molienda, transporte y almacenaje de la arena y laterita han sido calculados en bases similares.

La capacidad de molienda del crudo está calculada sobre la base de que los requisitos de alimentación semanales se produzcan en 150 horas de operación (al 90% de disponibilidad efectiva), al valor de 300 toneladas/hora de producción calculado, se le ha añadido un factor de seguridad del 1.25. En el momento de calcular el equipo de transporte de los materiales que alimentan el horno, se añadió un factor de seguridad de un 25%. El almacenaje de estas materias está calculado en base a que exista suficiente material para alimentar el horno durante 5 días de funcionamiento continuo de éste, con una capacidad mínima de 25,600 toneladas.

La capacidad de transportación del clinker desde el horno está calculado en 343 toneladas por hora, con un factor de seguridad de 1.5, para cubrir el factor de transitoriedad del material. El volumen de almacenaje para el clinker se ha calculado dependiendo de la cantidad de clinker que es necesario producir para atender las ventas durante un periodo de parada de tres semanas para el mantenimiento del horno (plazo máximo de parada predecible y programado durante un periodo de ventas bajas) más un factor de seguridad del 1.5%.

La capacidad de molienda del cemento de 170 toneladas/hora ha sido calculado en base a un volumen de producción máxima de ventas, durante un periodo de producción de una semana a 150 horas, tomando un factor de seguridad de 1.1. Los volúmenes de venta máxima se han tomado al 15% por encima de las ventas promedias. Se ha aplicado un factor de seguridad de 1.1 para la capacidad de volumen del equipo de transporte correspondiente.

El equipo destinado al despacho de sacos y a granel, se han calculado en función al volumen de venta del producto de 80/20 respectivamente (según el estudio de mercado) para plazos de máxima comercialización, con 10 horas diarias laborables.

La capacidad de molienda del carbón está calculada según el consumo de combustible previsto y del valor calorífico del carbón, y en base al funcionamiento continuo del molino de carbón. Se aconseja que se tenga una provisión suficiente de carbón para dos semanas de funcionamiento continuo.

La Figura EF-12 muestra un diagrama de flujo esquemático del proceso propuesto, con las cantidades de flujo principales.

## **6.4 Esquema de los procedimientos métodos de tratamiento**

### **6.4.1 Explotación y molienda**

Los principales constituyentes de la materia prima serán las calizas (78%) y las arcillas (19%), estos materiales son húmedos y pegajosos, dificultando bastante su manejo. Para hacer más fácil su manejo, se aconseja mezclar la arcilla con la caliza durante la fase de la molienda. Se realizará una pre-mezcla de calizas con arcillas, controlando el nivel de carbonato de calcio, justo por debajo del requisito de la cantidad de material que alimentará al horno. Esta mezcla se amontonará en un depósito de mezclado almacenado, y el material que se extraiga de aquí se llevará hasta la tolva que alimenta el molino. Se triturará una pequeña cantidad de caliza pura y se almacenará independientemente, esta tendrá un nivel de carbonato que permita la consecución final del molino del crudo. Otros materiales son las arenas y la laterita que se prepararán y almacenarán por separado, y alimentarán las tolvas del molino. Así pues, existirán cuatro componentes: mezcla caliza/arcilla, caliza pura, arena y laterita, disponibles para el control exacto de la química (coeficiente de los componentes) de la materia prima destinada a la planta.

#### **6.4.1.1 Molienda de calizas y arcillas**

El contenido de humedad de la caliza y arcilla es comparativamente alto, un 20% en cada material. Esta característica exige que se preste especial atención a la hora de especificar el equipo para la molienda. Se cuenta con que el tamaño máximo de las calizas sea de 500 mm. El tamaño máximo del material para el molino será de 80 mm. aproximadamente (dependiendo del tipo elegido finalmente). El coeficiente general de reducción necesario para los materiales escogidos para la trituración es, pues, de 6.25 a 1. Todo esto se podría realizar en una sola fase, si se pudiera emplear un tipo de trituradora con alta velocidad de impacto, pero estas máquinas no pueden trabajar con materiales que tengan excesiva humedad ni que sean pegajosos, a no ser que estén acompañadas por un proceso de secado gradual. Las mejores máquinas para trabajar con materiales húmedos y pegajosos son las de rodillos, aunque éstas están limitadas a trabajar con un coeficiente de reducción del 5.1, siendo necesario aplicar una reducción de dos fases. Con el fin de establecer el sistema de triturado óptimo, serán necesarias llevar a cabo pruebas de laboratorio.

Habrá que controlar continuamente la química de la pre-mezcla, con un analizador de cinta cruzada (como el que entrega Gamma Metrics), y la volumetría, mediante el ajuste automático de los alimentadores de arcillas y calizas. Un factor importante es la consistencia del producto extraído de la cantera.

De manera independiente se triturará una pequeña cantidad de caliza sola (10% del total de la materia), que se amontonará y almacenará, con el propósito de regular la mezcla principal según la necesidad.

#### **6.4.1.2 Otros materiales**

Puede que al llegar la laterita haya que triturarla, posiblemente utilizando una simple trituradora de tipo cónico.

La arena, por el contrario, es probable que no necesite ninguna preparación; aparte de la simple mezcla, aunque esto sólo se establecerá cuando se haya confirmado la fuente.

#### **6.4.2 Pre-mezclado de la materia prima**

Se mezclarán las calizas y arcillas y luego se almacenarán en un par de capas longitudinales. El modo convencional de realizarlo es ir formando una capa completa, e ir extrayendo de aquí mientras se está formando la otra, y así sucesivamente. Las capas se forman por el amontonamiento de capas horizontales mediante una máquina que amontone rápidamente. Cuando se ha terminado (100% de la cantidad y la química global correcta) se extrae el material en tajos verticales, a lo ancho del montón, mediante un transportador puente de tipo recogedor. De este modo, cualquier variación de la consistencia del material hasta que llega al almacén es casi inapreciable. El volumen de un sólo montón completo será de 40,000 toneladas aproximadamente (según lo excavado). Este volumen abastecerá holgadamente durante un periodo de 7 días a un horno de funcionamiento continuo y a rendimiento completo.

Como resultado de la reportada variabilidad del producto de la cantera, también será necesario mezclar la caliza pura (caliza de alta calidad). Esto puede realizarse dentro de un sistema más reducido de almacenaje, de unas 5,000 toneladas de capacidad (es decir, dos montones de 5,000 toneladas).

En la fase de ingeniería de detalle se puede tener en cuenta el almacenaje circular del material de reserva, dado que estas distribuciones ocupan el 40% aproximadamente del área necesario para la variante longitudinal. Esto puede ser un factor importante debido a la congestionada naturaleza de la zona, y en caso de que fuera necesario techar el lugar podría significar un ahorro considerable del coste. La desventaja de este tipo de almacén es que el tamaño es fijo desde el principio y no hay modo de ampliarlo, a no ser que se construya otro (los almacenes longitudinales pueden generalmente ampliarse a lo largo, para aumentar la capacidad si se desea). Además, por el modo de descarga central de los almacenes circulares, es bastante probable que se bloqueen, sobre todo, si los materiales que están siendo procesados son pegajosos, pudiendo ser éste el factor que imposibilite el uso de este tipo de almacenes circulares.

Las arenas y lateritas se almacenarán en simples capas para mezclas longitudinales de 2,500 toneladas de capacidad (es decir, dos capas de esta capacidad para cada material). Esto brindará la posibilidad de almacenar arenas para dos semanas y media, y seis semanas para la laterita.

#### **6.4.3 Molienda de la materia prima**

Antes de alimentar el horno se debe sacar las proporciones exactas de las materias primas, habrá que secarlas y molerlas hasta una finura de aproximadamente 12% + 90 micrones.

Se aconseja que se utilice un sistema combinado de secado y molido, con una molienda de rodillos de eje vertical o con una de bolas. El molino estará precedido de tolvas con los componentes de la mezcla de materia prima, y cada uno incorporará un basculador-alimentador para el control y el racionamiento exacto de la alimentación del molino. En vista de la anticipada naturaleza pegajosa de la caliza, y en especial de la arcilla, habrá que tomar

especial cuidado en el manejo de los materiales y del equipo del almacén en general y, sobre todo, de las tolvas para almacenaje. Será importante utilizar un tipo de máquina de extracción mecánica; sin ésta se producirá una segregación de calizas y arcillas que, hará casi inevitable el bloqueo de las salidas de las tolvas.

Convendrá llevar a cabo bastantes pruebas de laboratorio con las materias primas, con el fin de llegar a conocer la moldurabilidad y la cantidad de secado real antes de especificar el sistema de molienda. El sistema de molienda más eficaz y el más utilizado para el molido de materias primas es el de rodillo de eje vertical con clasificador interno. Una alternativa sería utilizar un molino de bolas con cámara de secado incorporada.

El de tipo de eje vertical, generalmente puede soportar niveles de humedad de hasta el 20%, pero tiende a ser más susceptible para acoger material abrasivo que el de bolas. Hasta este momento, es de suponer que utilizar el molino de eje vertical sería más conveniente y, por lo tanto, habrá que preparar la previsión de fondos de acuerdo a esto.

Para ambos tipos de sistemas de molienda, la energía empleada para el secado de las materias primas llegará, en parte, por la rotación de los gases desprendidos del horno y del excedente de aire caliente procedente del sistema de enfriamiento a través del molino. Al estar las materias primas demasiado húmedas, los gases no proporcionarán el calor total necesario, por lo que será necesario utilizar un generador de gas caliente que adicione más calor. Este calentador preferiblemente quemará el mismo combustible escogido para el sistema del horno, es decir, carbón. Sin embargo, está previsto que el requisito del combustible exceda las 6 toneladas por hora, lo que generará casi 100 toneladas de ceniza semanales (suponiendo que el carbón tenga un valor calorífico de 6,000 k.cal/kg y un contenido de ceniza del 10%) que habrá que sacar del horno. Un combustible más adecuado sería el gas o el petróleo, pero, por supuesto, tendría una alta penalización de coste de operación.

El molino tendrá una capacidad de 300 toneladas/hora (basado en alimentación seca). Esto facilitará la preparación de la alimentación del horno durante una semana (con 150 horas de funcionamiento) y recogerá un margen de seguridad del 25%, con lo cual abastecerá a todos, aún en el supuesto de producirse la avería más grave en el equipo.

El gas que sale del molino pasará a través de un conjunto de ciclones, y desde allí a un precipitador electrostático para una limpieza final antes ser lanzado a la atmósfera. Durante los periodos inactivos del molino, el gas que sale del enfriador y del horno pasará a través de una torre de acondicionamiento para gas, donde se enfriará bajo la acción de una llovizna de agua antes de pasar al precipitador.

El material final recogido por los ciclones y filtros será transportado a un almacén sencillo de material de alimentación y a un silo de mezclado. El volumen del producto estará calculado para cubrir 25,000 toneladas, las cuales, debido a que no es conveniente dejar el silo completamente vacío, para mantener una acción de mezclado aceptable, serán suficientes para abastecer el horno durante cuatro días aproximadamente, con funcionamiento continuo.

#### **6.4.4 Sistema de combustión del clinker**

El horno tendrá una capacidad de 3,200 toneladas de clincker diarias. Esto dotará con un rendimiento nominal anual de 1,000,000 toneladas. El consumo de combustible de la unidad

del horno será de 800 k.cal/kg aproximadamente, y la tasa de alimentación del material será de 213 toneladas/hora.

El sistema giratorio del horno incorporará un precalentador de suspensión para alcanzar la máxima eficiencia térmica. Se empleará un calentador de cinco fases para reducir la temperatura de los gases de escape. Para este caso, la mejor opción sería conseguir un calentador de cuatro fases, con el objeto de proporcionar un grado más alto de calor durante la entrada del producto al molino. (En cualquier caso, se utilizará todo el calor que pueda prácticamente extraerse de los gases de escape del horno o, al menos, mientras funcione el molino, siendo éste el 90% del tiempo aproximadamente).

También incorporará un sistema de precalcación, en el que las dos terceras partes aproximadamente de la entrada total del combustible al horno, se introducirán desde el exterior, proporcionando las siguientes ventajas:

- Reduce la carga termal dentro del horno giratorio, y así reduce la tensión sobre la línea refractaria, haciendo más duraderos los ladrillos.
- Un menor diámetro del horno para una producción dada, reducirá los costos de capital.
- Un funcionamiento más estable del horno, producto del control individual de combustible y entrada de calor para los procesos de calcinación y sinterización.

El horno será una unidad convencional con un diámetro de 4.4 m aproximadamente y una longitud de 60 m., equipado con tres soportes, seguido de un enfriador de alta eficiencia. El excedente de aire (no necesario para la combustión) procedente del refrigerador, se limpiará dentro de los ciclones protegidos convenientemente, antes de conducirse o al molino, para reducir la cantidad de combustible necesaria para el secado de las materias primas o a la torre, para filtrarlo finalmente.

Se ha previsto que el combustible para el horno y para el calcinador sea carbón, aunque, también, se puede utilizar petróleo como combustible. El coste de operación con este último es generalmente más elevado, aunque el coste de capital puede ser ligeramente más bajo. De todas formas el presupuesto para el coste de capital se ha realizado en base a un combustible de carbón.

#### **6.4.5 Molienda del cemento**

El clinker que sale del horno se almacenará en un silo de tamaño apropiado para albergar un volumen equivalente al producido durante 24 días de funcionamiento del horno. Esto permitirá continuar la elaboración de cemento ininterrumpidamente durante un período de inspección típica del horno de tres semanas.

Desde aquí se transportará a las instalaciones del molino de cemento que tendrá un sólo molino de bolas de 5, 440 kW preparado para una operación de circuito cerrado y con una producción de 170 toneladas/hora.

Se ha tomado en cuenta que hay una planta de molienda de cemento que Cementos Colón está construyendo; ésta va a tener una potencia de 3,000 hp (motor de 2,238 kW) preparándose actualmente para un funcionamiento de circuito abierto, para el que se calcula un rendimiento de 60 t/h. Su disposición asegurará la posterior conversión a circuito cerrado

y, de este modo, el molino será capaz de producir 70 t/h., facilitando la preparación de la planta integrada para la elaboración de cemento, y así, incorporar esta unidad cuanto antes. Si se tuviera que adoptar esta opción, entonces, habría que reducir la potencia instalada para el nuevo molino de circuito cerrado a 3,200 kW (además de convertir de la unidad existente a circuito cerrado). El uso del molino, actualmente en construcción, reducirá el coste de capital para el nuevo molino, pero habrá costes adicionales incrementados por el equipo de manejo mecánico necesario, para traer el material desde el horno y del almacén del clinker hasta el molino actual. El efecto global sobre los costes de capital destinados a la planta, es casi probable que sea nulo.

#### **6.4.6 Embalaje y entrega**

El producto del molino se transportará a un par de silos con 20,000 toneladas de capacidad, con una capacidad de almacenaje equivalente a dos semanas laborables. Los silos se instalarán con facilidades para cargar tanques de cemento desde ambos, para entregas a granel y para el sistema de empaque en sacos o fundas.

El estudio de mercado indica que las ventas en la República Dominicana están principalmente orientadas al sistema de sacos, con sólo el 20% de comercialización a granel. La planta de embolsado tiene que estar preparada para acoger el 80% de las ventas y con una capacidad de 466 toneladas/hora. La capacidad de carga a granel será de 110 toneladas/hora.

La planta actualmente en construcción incorpora un silo de cemento de 5,000 toneladas, con un sólo punto de carga a granel y con una única máquina de embolsado. En cuanto al molino se refiere, será fácilmente posible integrar este equipo al sistema de la fábrica de cemento.

#### **6.4.7 Preparación del combustible**

Está previsto que la planta funcione con carbón, aunque también se tendrá una provisión de petróleo para el arranque de la planta. En la actualidad este carbón se está importando a la República Dominicana desde Colombia y Venezuela, representado generalmente el 60% aproximadamente del coste del petróleo.

El consumo de calor general para la planta será aproximadamente de 1,050 kcal/kg de clinker (800 kcal/kg de clinker destinado al horno más 250 kcal/kg de clinker para el secado en el molino), con lo cual el requisito de carbón diario será de 560 toneladas; dando por hecho que el carbón tiene un valor calorífico de 6,000 kcal/kg. La capacidad para el almacén de carbón dependerá de la cantidad y frecuencia de transporte utilizado para la importación del producto, lo que equivaldrá a 2 semanas de funcionamiento continuo del horno, es decir, 10,000 toneladas. Debido a que existe la posibilidad de que se reciba carbón de distintos abastecedores, se recomienda que el almacén sea designado como sitio para mezcla (preferiblemente de forma circular). Se puede plantear ampliar la capacidad del almacén, formando montones afuera, tanto al lado del almacén como en la planta.

El carbón se preparará para la combustión de una operación combinada de molido y secado, utilizando gas residual inerte caliente de la salida y del precalentador. El molino será una máquina de eje vertical con una capacidad nominal de 26 toneladas por hora. Será necesario llevar a cabo pruebas sobre el carbón, o sobre los carbones utilizados, y sobre la posibilidad de emplear combustibles alternativos, tales como petróleo coque; esto deberá tenerse en

cuenta antes de concretar los detalles sobre la planta. Habrá que preparar la planta para casos de incendio indirectos en los que el combustible se derrame a varios puntos de uso, esto es, al horno, a los precalcinadores (dos quemadores) y al generador de gas caliente del molino de materia prima o de crudo.

#### **6.4.8 Servicios auxiliares**

##### **6.4.8.1 Aire comprimido**

Se utilizará aire comprimido en toda la planta, principalmente durante la limpieza de los filtros de bolsa, aunque, también en los equipos neumáticos, derivadores, válvulas etc.. Se instalará un sistema de compresión centralizado, con nivel apropiado de capacidad de reservas.

##### **6.4.8.2 Agua**

Es improbable que la cantidad de agua necesaria, puede ser suministrada por las principales fuentes de suministro. Por ello se advierte que el agua sea extraída de pozos en el área de la planta. Con este propósito se necesitará una planta apropiada y centralizada para el tratamiento de aguas, cuyo coste está ya contemplado dentro del presupuesto.

El uso de la mayor parte del agua estará dedicado a fines de enfriamiento y deberá utilizarse, un sistema de circuito cerrado con dispositivo para la transferencia de calor. Realmente, las únicas cantidades de agua consumidas, serán las que se empleen en la torre de acondicionamiento del gas salido del horno, que va a ser utilizado, cuando el molino de crudo no esté en operación y una pequeña cantidad será inyectada al molino de cemento para controlar la temperatura en la desembocadura del molino.

El requisito de agua representativo para una planta con método seco es de  $0.3\text{m}^3/\text{toneladas}$  de clinker y, así pues, el índice de consumo será de  $1,600\text{ m}^3/\text{toneladas}$  diarias.

#### **6.5 Concepto de la planta**

##### **6.5.1 Ingeniería eléctrica/ suministro eléctrico**

###### **6.5.1.1 Introducción**

La mayor demanda de trabajo se estipula en 17 MW, de conformidad con lo mostrado en la Tabla de Carga (Tabla 6-2). El sistema de suministro eléctrico vigente en la isla no tiene la suficiente capacidad o red de líneas para un “firme” abastecimiento, que haga frente a esta carga. Por consiguiente, se propone construir una estación eléctrica con el diseño más avanzado sobre motores diesel, funcionando en base a un combustible destilado (comparado al de combustible pesado), para conseguir combinar el factor de alta seguridad con el menor mantenimiento posible.

**Tabla EF-14**  
**Tabla de Carga Eléctrica**

Tipo de carga	MD (máxima demanda) porción de obra	Máxima demanda MD	Tiempos en marcha	Demanda media	Demanda mínima (18 hrs/semana)	Carga sin un gran motor
	%	KW	hrs/semana	KW	KW	KW
Molienda	5	850	60	300	-	-
Molino de crudos	30	5100	150	4550	-	4550
Horno	22	3740	168	3740	3740	3740
Molino de cemento	35	5950	150	5310	-	-
Otros	8	1360	80	650	-	650
Total KW		17000		14550	3740	8940
KVA en 0.8 factor de potencia		21250		18190	4675	11175

### 6.5.1.2 Generadores diesel

La configuración óptima sería la compuesta por cuatro grupos con potencia de 6 MW, de 750, o 720 rpm (50 o 60 Hz). La Tabla de Carga indica la carga mínima, 3740 kW (para unas 18 horas semanales). Para conseguir esto, habrá que dejar funcionando uno de los grupos al 62% de su potencia, la cual está por encima del mínimo aceptable, con el fin de evitar problemas de “bajo rendimiento”.

Durante los periodos en los que sólo funciona un grupo, los otros recibirán los servicios rutinarios y las reparaciones correspondientes.

La máxima demanda de 17 MW la cubrirán tres grupos funcionando al 94% de su potencia. Durante este plazo se podrían utilizar los cuatro grupos para:

- que funcionen como repuesto rotatorio para carga, en cuyo caso la carga sobre los cuatro diesel sería del 71% , o
- conservarlos como reserva listos para un arranque rápido, o
- para cuando se está llevando a cabo el mantenimiento o reparación de una avería.

En el improbable supuesto de que la actividad llevada a cabo con esta configuración no atienda los objetivos de seguridad a largo plazo, entonces, en última instancia podría instalarse un quinto grupo. Así, pues, se recomienda que desde un principio se calcule el tamaño del edificio de la estación eléctrica y de los auxiliares, dimensionada para 5 grupos.

La carga general de 14.5 MW será atendida por tres grupos funcionando al 80%, lo que proporcionará un rendimiento de combustión óptimo.

Antes de arrancar el motor más grande (Molino de Cemento de 5000 kW), la carga de la zona será de 11 MW, suministrada por un mínimo de 2 grupos. Al incorporar un 3º grupo activo, se conseguirá la capacidad suficiente como para arrancar este motor más grande. El diseño

sobre los controles de arranque y sobre los controles de carga cuando se arranca el motor, deberán estar relacionados.

#### **6.5.1.3 Distribución eléctrica**

La estación eléctrica generará habitualmente 11 kV, que también formarán el voltaje del sistema de distribución principal de la zona, proporcionando el valor máximo posible al equipo del interruptor de la estación eléctrica, como 5 veces 6 MW, es decir, con un factor de carga de 0,8, que es 37,5 MVA, 2000A. Sin embargo, la organización real de los generadores y alimentadores de carga puede degenerarse en un índice más bajo.

La distribución eléctrica en la zona se preparará según las normas estándares industriales, proporcionando una duplicación completa de alimentación, de tal manera que la capacidad total pueda hacer frente en caso de una caída en la distribución. (Ver Figura EF-13).

#### **6.5.1.4 Suministros alternativos**

Puede que sea conveniente recibir de la red principal un suministro de baja potencia, que será suficiente durante la fase de construcción de la zona y para después de ésta, a fin de cubrir las necesidades durante los cortes eléctricos previstos. Dicha conexión se podría recibir en cualquier voltaje y transformarla, si fuera necesario, en el lugar apropiado dentro del sistema de distribución. No se intentará utilizar esta conexión en operaciones paralelas de la estación eléctrica ni de la red principal.

También se instalará un generador diesel de arranque automático, para una alimentación de emergencia a la zona donde está la sección de suministro esencial del sistema de distribución del área.

#### **6.5.1.5 Coste operativo**

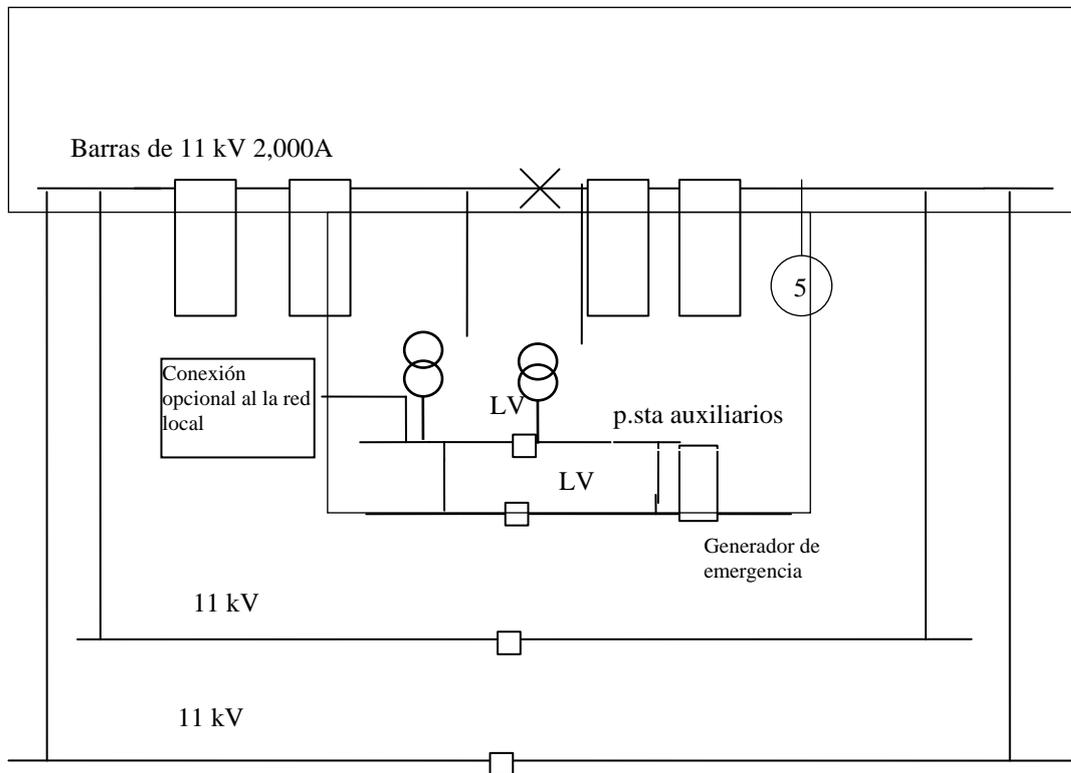
Los grupos modernos propuestos podrían cubrir un consumo de combustible de diesel específico (combustible destilado) de 180 gr. por kW/hr generado.

Los costes para los recambios típicos serán de US\$0.0021 por kW/hr con la consiguiente mano de obra para el mantenimiento estipulado en US\$ 0.0016 por kW/hr

#### **6.5.1.6 Costes de Capital**

El coste de capital de llave en mano de la estación eléctrica, que abarca el diseño y la construcción de la zona del trabajo civil y de la planta, está estipulado en US\$ 14,4 millones (Esta cifra no recoge el sistema de distribución del tendido eléctrico, que ya ha sido contemplado en el presupuesto de la planta principal).

**Figura EF-13**  
**DETALLES Y DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA DE DIESEL**



4 generadores de diesel cada uno de 6 MW (con opción de hasta 5)

## 6.5.2 Conceptos estructurales y civiles

### 6.5.2.1 Características del terreno y de la zona

La planta de la molienda del clinker, actualmente en construcción, tiene sus cimientos sobre hormigón en masa sin pilares; esto indica que la capacidad de soporte de carga del terreno no es débil, pudiéndose utilizar diseños para fundaciones convencionales. No obstante, antes de iniciarse la construcción de la planta de cemento integral, es recomendable que se realice un estudio geotécnico completo del área.

### 6.5.2.2 Materiales para la construcción

Las estructuras principales y la torre de precalentamiento serán de acero armado. El silo para la planta de la molienda del clinker ha sido construido utilizando un encofrado deslizante, y está previsto utilizar el mismo sistema para el molino de materias primas y para los silos de cemento y clinker de la planta principal.

## 6.5.3 Disposición de la planta y distribución del equipo

### 6.5.3.1 Criterio general sobre la disposición

El lugar disponible para ubicar la planta de cemento integrado es bastante pequeño, lo que restringe la posibilidad de disposición de la planta. Dentro del recinto despejado por CORDE/Cementos Colón existe un área de 500 m. norte a sur, por 400 m. este a oeste aproximadamente para ubicar la planta. Una disposición típica para una planta del tipo previsto, necesitaría un espacio mínimo de 500 m. por 1,000 m.

La parte sur de la zona está limitada por un barranco, al este por la carretera de acceso y al oeste por un escarpe. El área de 200 m<sup>2</sup>, ubicado en el centro de la zona que ha sido tomado para construir la planta de la molienda del clinker de Cementos Colón, limita el emplazamiento aún más. Por lo visto, el terreno situado al norte puede ser apropiado para la construcción.

Actualmente se aconseja que la carretera para el transporte de la calizas extraídas penetre en la zona por el recodo suroeste, pudiendo ser un lugar apropiado para la actividad de triturado de arcillas y calizas, dado que aquí se puede distribuir el equipo convenientemente para adaptarse a la topografía.

Así pues, la planta puede disponerse con sus ejes principales en paralelo al escarpe, en el mismo sentido al extremo occidental de la zona. El silo del clinker, la sección del molino de cemento y los silos de cemento deberán estar situados cerca de la planta de la molienda, actualmente en construcción, para capacitar la operación de integración. Según esto, sería conveniente ubicar estas unidades al noreste de la construcción actual.

El Plano N° EF009 se adjunta un esquema con una posible opción para la distribución, aunque todavía se necesitará realizar un estudio detallado durante la fase de selección del equipo.

### 6.5.3.2. Impacto medioambiental

Las nuevas plantas de toda Europa tienen la obligación de cumplir con los límites de emisión:

Sustancia	Gases de escape del horno	Todos los demás
Particulares	40 mg/Nm <sup>3</sup>	50 mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	200 mg/Nm <sup>3</sup>	
NO <sub>2</sub>	900 mg/Nm <sup>3</sup>	

En los EEUU se aplican normas similares, utilizándose estos valores como marcos de referencia (Bench marks) para las especificaciones destinadas a esta planta.

No existirá emisión de agua de la planta, y así, el desagüe se limitará al tratamiento del vertido de aguas domésticas comunes y de descarga de agua de tormenta, con posibilidad para acoger el sistema de lixiviación procedente de las reservas y de los desechos.

### 6.5.3.3 Infraestructura

Todos los materiales y productos serán transportados por carretera, lo que genera un excedente de 200 movimientos de camión cada día (dentro y fuera de la planta). Especialmente habrá que tener en cuenta el impacto que esto produce sobre el sistema de carga local.

La carretera vigente que va a la zona de obras está en bastante mala condición, pero el Gobierno sabe que se ha comprometido con la comunidad vecinal a repararla. Es necesario que esto esté terminado antes de que la planta inicie la producción.

## **6.6 Coste de capital**

### **6.6.1 Resumen de Costes**

El coste de inversión destinado a la planta está estipulado en US\$ 223,400,000 lo que es equivalente a un coste de inversión de US\$ 212 por toneladas anuales de la capacidad de elaboración de cemento. Los costes de la maquinaria están calculados en US\$ 95.15 millones - FOB (US\$ 80.13 millones de mecánica y US\$ 15 millones eléctrica) lo que significa el 42.6% del coste de inversión. El coste de instalación de la planta eléctrica está prevista en US\$ 14.4 millones. Otro coste significativo es el de US\$ 76 millones para la ingeniería civil (con los silos) y las estructuras de acero, y el de US\$ 19 millones destinados a la instalación e izado de la planta. El Apéndice EF4 muestra un desglose detallado de los presupuestos.

### **6.6.2 Inversiones extranjeras y nacionales**

El equipo importado esta sujeto al pago de aranceles de importación calculados conforme al precio "CIF" (cost, insurance and freight), en castellano CSF (coste, seguro y flete). La tasa de arancel de importación estándar es del 10%, pero está previsto aplicar el 5% de la tasa preferencial para este proyecto.

En la República Dominicana existen empresas especialistas que son capaces de llevar a cabo toda la infraestructura, estructura metálica y obras civiles que son necesarias para la construcción de la planta de cemento. Es sabido que sólo se importará la planta y la maquinaria, y por consiguiente, solamente se ha aplicado el arancel de importación sobre estos elementos.

### **6.6.3 Costes de mantenimiento**

Dentro del capital de coste estimado para los recambios, se ha contemplado una cantidad de dinero destinado a cubrir los dos primeros años de operación. A partir de este periodo se calculó que los costes de mantenimiento anuales serían un porcentaje del coste del capital.