



de este material. En ellas se apoya toda la investigación actual que emplea técnicas de análisis muy sofisticadas y rápidas.”³

1.3.4 Definición

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

Dosificado y mezclado apropiadamente con agua y áridos debe producir un hormigón o mortero que conserve su trabajabilidad durante un tiempo suficiente, alcanzar unos niveles de resistencias preestablecido y presentar una estabilidad de volumen a largo plazo.

El endurecimiento hidráulico del cemento se debe principalmente a la hidratación de los silicatos de calcio, aunque también pueden participar en el proceso de endurecimiento otros compuestos químicos, como por ejemplo, los aluminatos.

1.3.5 Tipos de cemento

“Los cementos son materiales conglomerantes obtenidos por calentamiento hasta la clinkerización (sinterización) de carbonato cálcico, sílice y alúmina.

Los productos obtenidos son hidráulicos (silicatos y aluminatos cálcicos que fraguan bajo el agua) que se muelen hasta obtener materiales en forma de polvo muy fino. Aunque se trata de materiales artificiales, se distinguen los siguientes dos tipos:

³ Historia del cemento. (s.f.). Recuperado el 7 de agosto de 2013, de http://ieca.es/reportaje.asp?id_rep=5



1.3.5.1. Cementos Naturales

Estos **cementos** se producen por **calcinación de una mezcla natural de sustancias calcáreas y argiláceas**, a una temperatura por debajo de aquella en que sucede la aglomeración. La norma de la ASTM que rige estos cementos naturales, C10, exige que la temperatura no rebase la necesaria para expulsar del material el dióxido de carbono.

Puesto que los **cementos naturales** son derivados de materiales presentes en la naturaleza que, por tanto, no requieren un esfuerzo específico para ajustar su composición, son cementantes que exhiben grandes fluctuaciones de composición y propiedades. Es decir, algunos tienen propiedades idénticas a las del cemento Portland, pero otros son mucho más débiles.

La **principal aplicación de los cementos naturales son los morteros para pegar ladrillo y mampostería**, aunque también se emplean como aditivos de bajo costo para concretos de cemento Portland.

1.3.5.2. Cementos Artificiales

Se mezclan calizas y arcillas para su fabricación, en proporción tal, que toda la cal reaccione con los silicatos convenientemente preparados y dosificados. Son más constantes en su composición que los cementos naturales. La cocción de la mezcla se realiza a una temperatura de entre 1450 y 1480 °C. La masa homogénea obtenida se denomina clínker, la cual, después de ser triturada finamente, se convierte en el componente básico para la fabricación del cemento.

Entre los cementos artificiales se distinguen los siguientes:

1.3.5.2.1 Portland

El clínker de cemento portland se obtiene por sinterización de una mezcla de materias primas (crudo, pasta o harina finamente dividido, íntimamente mezclado y



homogéneo) conteniendo elementos, normalmente expresados en forma de óxidos, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y pequeñas cantidades de otras materias.

Las materias primas para la fabricación del cemento Portland consisten esencialmente en caliza, marga, arena silíceo y arcilla. También se emplean otras adiciones tales como yeso o materiales puzolánicos. Las calizas y margas aportan el óxido de calcio y las arcillas son responsables del aporte de los óxidos metálicos.

El proceso de elaboración consiste en mezclar las rocas calcáreas y las arcillas en proporciones adecuadas y molerlas finamente, de manera que el CaO de la caliza y los compuestos de la arcilla (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) resulten homogenizados adecuadamente.

El producto resultante, denominado polvo crudo, se calcina en un horno a temperaturas de 1450°C - 1600°C , donde se produce la fusión incipiente del producto resultante, denominado clínker. El clínker está compuesto fundamentalmente por los cuatro óxidos anteriormente mencionados.

1.3.5.2.2. Aluminato Cálcico

Son ricos en caliza y bauxita (alúmina), obteniéndose aluminatos cálcicos y presentan alta resistencia inicial. Los compuestos que se forman son aluminato monocálcico y silicato dicálcico. No necesita ningún tipo de regulador de fraguado. Llamados anteriormente cementos aluminosos, de endurecimiento muy rápido y, por lo tanto, de muy altas resistencias a cortas edades. De acuerdo con la norma UNE 80310:1996 "Cementos de Aluminato de Calcio" se designan con el prefijo CAC, seguido de la letra R, indicativa de altas resistencias iniciales.

1.3.5.2.3 Siderúrgico

Mezcla de clínker de Portland, yeso y escoria de alto horno. La escoria de alto horno es un material hidráulico latente, es decir, que posee propiedades hidráulicas



cuando se activa de manera adecuada. Esta escoria debe de estar constituida por lo menos $2/3$ en masa de la suma de CaO , MgO y SiO_2 . El resto contiene Al_2O_3 junto con pequeñas cantidades de otros óxidos. La escoria granulada del horno alto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria en estado de fusión de composición adecuada, procedente de la fusión de mineral de hierro en altos hornos y constituida al menos en dos tercios de su masa por escoria vítrea.

1.3.5.2.4. Puzolánico

Mezcla de clinker de Portland, yeso y puzolana (material silíceo que mezclado con cal y agua produce compuestos hidráulicos). Los materiales puzolánicos son sustancias naturales o industriales de composición silícea o silicoaluminosas, o bien una mezcla de ambas.

Estos materiales no endurecen por sí mismos cuando se amasan con agua, pero finamente molidos y en presencia de agua, reaccionan a la temperatura ambiente, con el hidróxido de calcio disuelto y forman compuestos de silicato y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia. Estos compuestos son similares a los formados durante el endurecimiento de los materiales hidráulicos.

1.3.5.2.5 Especiales

Estos no son otros que los cementos de uso general a los cuales se les ha incorporado ciertas propiedades especiales que le agregan utilidad para determinadas aplicaciones particulares. Entre estos se puede mencionar los blancos, de alta resistencia inicial, altamente resistente a los sulfatos, moderadamente resistente a los sulfatos, de bajo calor de hidratación, resistente a la reacción álcali-agregado.”⁴

⁴ Díaz, Anabela. Diseño y Selección de Equipos de un Sistema de Pre-molienda de Clinker y Aditivos para la Industria Cementera [en línea] 2002 [fecha de consulta: 20 de julio de 2013]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3377_C.pdf



1.3.5.3. Definición de términos y tipos de cemento según la NORMA NTE INEN 151:2010

Para la definición de términos utilizados en la fabricación de cemento nos basamos en la NORMA NTE INEN 151:2010



CAPITULO II: FABRICACIÓN DE CEMENTO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación que se realiza en “Industrias Guapán” es del tipo vía seca. El proceso tiene lugar a través de siete etapas en secuencia continua.

2.1.1 Trituración

El proceso de fabricación empieza con la reducción del tamaño de la materia prima que procede de las canteras, teniendo en la entrada rocas con dimensiones de aproximadamente 1000 mm de diámetro y en la salida, partículas de las cuales el 95%, su diámetro son menores a 25 mm.

El equipo que se utiliza en esta etapa es un triturador de martillos marca Williams Patente Crusher&Pulv. Co, con una capacidad de 500 toneladas métricas por hora con una humedad de entrada del material de 8%, lo suficiente para abastecer al proceso de producción con un funcionamiento de 8 horas diarias durante 5 días a la semana. El accionamiento de esta máquina es a través un motor eléctrico de 1500 HP y un consumo específico de 3,5 kilovatios hora por tonelada métrica.



Figura 2.1. Imágenes de Triturador de Martillos marca Williams Patente Crusher&Pulv. Co.
Fuente: Propia

2.1.2 Prehomogenización

Es el área destinada para el almacenamiento del material triturado y la homogeneidad del producto en elaboración, previo a la dosificación y molienda de crudo. Se lleva a efecto en esta área el apilamiento en tres pilas de 7,000 toneladas cada una y luego la recuperación a través de un sistema de rastrillo y transporte.

La maquinaria que realiza la pre homogenización está dentro de una bodega circular, marca Pohlig - Heckel - Bleichert, que consta de un apilador con capacidad de 600 toneladas métricas por hora, almacenando el material en tres pilas de 7000 toneladas cada una y un recuperador con capacidad de alimentación de 200 toneladas métricas por hora.

La capacidad nominal de almacenamiento es de 40.000 toneladas, pero por efectos de un mayor control en la calidad y disponibilidad de recuperación para la molienda de crudo, se lo utiliza en un 70 %.

El transporte del material pre homogenizado se lo realiza a través de una cadena con paletas a la cual cae mediante el accionamiento de un rascador y deposita el material en una tolva y esta a su vez le transfiere a las bandas. El consumo específico es de 0,53 kilovatios hora por tonelada métrica.



Figura 2.2. Imagen del Prehomogenizador y Parque de calizas trituradas
Fuente: Propia

2.1.3 Molienda de crudo

En esta etapa del proceso se dosifica y prepara la materia prima de acuerdo a los requerimientos físico-químicos para la elaboración del clinker de cemento. Se realiza la molienda hasta una finura tal que el retenido en el tamiz de 200 ASTM (75 micras) sea menor al 15 %, con una humedad del producto inferior al 0,5 %.

El equipo principal de esta etapa es el molino de bolas; de tipo horizontal, consta de un tubo de acero de 3,96 m de diámetro y una longitud de 7,93 m dividido en dos cámaras de molienda, que con el blindaje adecuado y la carga necesaria tiene una capacidad de producción de 90 toneladas métricas por hora; es accionado por

un motor de 2500 HP, con un consumo específico de 34,7 kilovatios hora por tonelada métrica, está diseñado para trabajar 6 días por semana y 24 horas al día.

Una función adicional en la etapa de la molienda de crudo es evaporar el contenido de agua en la materia prima, y se lo realiza en la cámara de secado utilizando para ello, el efecto los gases provenientes de la torre de precalentador del horno rotativo. El molino tiene un diseño de descarga central lo cual permite disponer de dos entradas simultáneas a las dos cámaras de molienda; tanto para los gases calientes para el secado, cuanto para el material de alimentación. A la primera cámara se alimenta material desde los dosificadores y a la segunda el material procedente de la recirculación de gruesos provocados por el separador de aire.

El aire de barrido del molino es manejado por un ventilador de tiro accionado por un motor eléctrico de 800 HP y los gases son filtrados mediante colectores ciclónicos en serie.



Figura 2.3. Imagen del Molino de Crudo
Fuente: Propia



2.1.4 Homogenización

El producto de la molienda de crudo es transportado por aerodeslizadores hasta dos silos de homogeneización, que tienen una capacidad de 2340 m³ en total. Tienen la función de realizar la mezcla de la harina cruda para mejorar la homogeneidad del material. Este trabajo se lo realiza mediante la inyección de aire comprimido a impulsos para generar un movimiento interno del polvo.

El aire comprimido es generado por un compresor de aletas rotativas con una capacidad de 3000 m³/h a 2 Kg/cm² de presión y es distribuido adecuadamente por un sistema de lanza de aire rotativo.

Una vez completada la homogenización y comprobadas las variables de calidad, el material está listo para alimentar al horno y es trasladado a los silos de almacenamiento que están por debajo de los primeros, con una capacidad total de 4540 m³.

La dosificación al horno es controlada desde el panel central en función de determinadas variables del proceso; lo cual se realiza mediante una banda dosificadora que recibe el material desde una caja de despresurización y descarga en un sistema de transporte neumático que impulsa el material hasta el precalentador del horno.



Figura 2.4. Imagen de los Silos de Homogenización y Almacenamiento de crudo
Fuente: Propia

2.1.5 Clinkerización y Enfriamiento

Es la etapa fundamental del proceso de fabricación de cemento, en la cual, la harina cruda homogenizada reacciona químicamente a temperaturas entre 300 y 1500 grados centígrados para dar lugar a la formación del clinker de cemento.

Esta etapa consta con los siguientes equipos:

2.1.5.1 Horno Rotativo

El equipo principal es el horno rotativo, que tiene una capacidad de producción de 1.100 toneladas métricas por día de clinker de cemento, a una temperatura de descarga de 65 °C sobre la temperatura ambiente. El horno es un tubo de acero de 4,11 m de diámetro y 57,91 m de longitud, revestido interiormente con material refractario, que apoya en tres bases con aros y rodillos que permiten el movimiento y accionado por un motor de 250 HP de velocidad variable.

En el proceso de clinkerización el material crudo procedente de los silos de almacenamiento es inyectado al ducto de salida de los gases de la segunda etapa del precalentador.



Figura 2.5. Imagen del Horno Rotativo para producción de clinker
Fuente: Propia



2.1.5.2 Precalentador

Consta de 4 etapas de ciclones instalados en serie, la etapa 4 está ubicada a la boca de alimentación del horno; la etapa 1 consta de dos ciclones en paralelo a cuya salida de gases se encuentra el ventilador de tiro del precalentador que es accionado por un motor eléctrico de velocidad variable con una potencia de 1250 HP. El tipo de motor con velocidad variable permite disponer de un caudal de aire adecuado para satisfacer los diferentes requerimientos de la alimentación, garantizando una atmósfera estable en el proceso de clinkerización del material en el tubo del horno.

El precalentador actúa como un intercambiador de calor entre los gases resultantes de la combustión del horno y el material pulverizado de alimentación. La otra función que desempeña el precalentador es el de colector estático ya que impide que el material sea arrastrado conjuntamente con los gases.

En el funcionamiento a plena capacidad, esto es con una alimentación estable alrededor de 75 toneladas métricas por hora, el material crudo incrementa su temperatura en aproximadamente 800 °C; y la temperatura de los gases desciende hasta llegar a los 300 °C. El material al incrementar su temperatura mientras desciende por el precalentador, comienza su proceso de transformación química, la temperatura máxima alcanzada en el horno rotativo depende de las características del material y del tipo de clinker de cemento que se está produciendo. Actúan como elemento fundente para llegar a la fase líquida el hierro (Fe); disminuyendo el tiempo de reacción del silicio (Si) y calcio (Ca), a la vez que bajan la temperatura necesaria para que se produzca la clinkerización, que para nuestro caso es de alrededor de los 1400 °C.



2.1.5.3 Enfriador

El enfriamiento es una parte importante del proceso de clinkerización, se realiza en el enfriador Polysius, que consta de un parrillado metálico que produce la descarga del material enfriado mediante la transferencia de temperatura por la inyección de aire frío con 4 ventiladores. A la salida del enfriador se encuentra el triturador de clinker que permite descargar un producto con una granulometría menor a 25 mm.

El aire necesario para la combustión proviene del intercambio de calor entre el clinker y el aire de los ventiladores y está siempre entre los 800 y 1000 °C; permite que se produzca el proceso de cocción, utilizando como combustible crudo reducido de petróleo equivalente a un Fuel oil # 6 americano.

2.1.5.4 Caldero

El caldero permite la dosificación y manipulación del combustible, que calienta el residuo de temperatura ambiente a la temperatura de inflamación (110 °C) mediante la transferencia de calor utilizando aceite térmico.

El aire del enfriador que no es utilizado para la combustión en el horno es evacuado mediante un ventilador de compensación. El consumo específico de energía de esta área es de 35 kilovatios hora por tonelada métrica de clinker producido y un consumo calorífico de 840 Kilocalorías por kilogramo de clinker.

2.1.6 Molienda de Cemento

La molienda de cemento o acabado es la parte final del proceso de fabricación. En esta área se dosifican y muelen el clinker, yeso y puzolana para producir el cemento de acuerdo a las especificaciones contempladas en las Normas, en este caso la INEN 490.



Esta de etapa del proceso de fabricación consta principalmente de 3 equipos que son:

- Secador de Puzolana
- Equipo de Premolienda
- Molino de Cemento

2.1.6.1 Secador de Puzolana

El secador permite una disminución de la humedad de la puzolana del 15 % al 3% en promedio, permitiendo así un mayor porcentaje de adición de puzolana, debido a la eliminación del 10% de agua adherida a la puzolana, humedad que produce obstrucciones en las grillas de los diafragmas de las cámaras de molienda. De esta manera se puede mejorar los indicadores de producción del proceso de molienda de cemento.

2.1.6.2 Equipo de Premolienda

Este equipo se alimenta del material dosificado (72% clinker, 25% puzolana, 3% yeso), todos los agregados ingresan a la trituradora y serán pre triturados juntos hasta obtener un tamaño de grano menor a 6mm, lo que permitirá un aumento de producción y una reducción del consumo específico en el molino de cemento.

2.1.6.3 Molino de Cemento

El equipo principal es el molino de bolas, marca FULLER Co, con un diámetro de 3,66m y una longitud total de 11,28m, es de tipo horizontal dividido en dos cámaras: la primera de 3,66m de longitud en la que se realiza la molienda gruesa y la segunda de 7,62m en la que se realiza la molienda fina.

El molino tiene un diseño con descarga axial, es accionado por un motor eléctrico de 3000HP con una garantía de producción de 60 TMPH de cemento, con una superficie específica media de 4300 cm²/g (Blaine). La clasificación del producto se realiza mediante un circuito dinámico con un separador de partículas por aire marca F.L. Smidth, modelo OSEPA.



Figura 2.6. Imagen del Molino de Bolas para cemento
Fuente: Propia

2.1.7 Empaque y despacho del material

Para la venta de cemento a los consumidores, se dispone de un área totalmente moderna en la que se encuentran instaladas dos ensacadoras rotativas marca Haver Boecker con 8 bocas cada una y una capacidad de enfundar 2000 sacos/hora por máquina. Cada una de estas ensacadoras están alimentadas con sus respectivos aplicadores RADIMATIC, que son servomecanismos automáticos que permiten un flujo continuo y estable en la emisión de sacos. Paralelamente para el despacho a granel se dispone de dos sistemas de alimentación para carros cisterna.

El respectivo control en el despacho relacionado con la variable de peso ($50 \pm 0,5$ kg/saco), se lo realiza a la salida del vehículo de transporte por dos modernas básculas electrónicas de 80 toneladas de capacidad y certificadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización



Figura 2.7. Imagen del Sistema de Empaque de cemento
Fuente: Propia

2.2 PRE MOLIENDA DE CEMENTO

2.2.1 Equipo de pre molienda

Objetivo general

El objetivo general es mejorar los indicadores de producción del proceso de molienda de cemento, gracias a un aumento de producción de mínimo 15% y una reducción del consumo específico en el molino del mínimo 10%(Kwh/t).