UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA

"DESARROLLAR UN MODELO MATEMATICO DE MEZCLAS DE MATERIAS PRIMAS EN LA LINEA DE MOLIENDA DE CRUDO CASO: PLANTA GUAPAN."

Tesis previa a la obtención del título de
Ingeniero Químico

AUTOR:

JUAN DIEGO ESPINOZA SORNOZA

DIRECTOR:

ING. VICTOR FERNANDO LLORET ORELLANA

Cuenca- Ecuador

2015

Resumen

El trabajo de investigación desarrollado en la Planta de cemento Guapán de la Unión Cementera Nacional –UCEM-CEM está orientado a implementar una herramienta informática desarrollada en Excel que, utilizando el modelo matemático correspondiente y conociendo previamente los resultados de la composición química de las materias primas utilizadas para la preparación del crudo en el proceso de la molienda, permita, al Departamento de Laboratorio Químico, inmediatamente calcular y controlar las proporciones ideales de los diferentes componentes minerales que aportan las materias primas que utiliza la Planta Guapán y así establecer la dosificación más óptima posible en la preparación de la mezcla de crudo que se someterá a cocción en el horno rotativo para la obtención del clinker, y que posteriormente se utilizará en la molienda final para la fabricación del cemento.

Para obtener un base de datos de confianza se efectuaron muestreos representativos de las materias primas disponibles en Planta y se realizaron los ensayos para la determinación de la composición química mediante el método analítico tradicional de complexometría y también utilizando el equipo de Fluorescencia de Rayos X que dispone la Planta Guapán.

Finalmente con la herramienta obtenido se puede comparar y controlar los resultados de la composición química de la mezcla de crudo con los resultados en tiempo real que determinará el equipo analizador químico en línea de última generación tecnológica que se está instalando en la fábrica de la Planta Guapán y que funcionará próximamente.

Palabras claves: Modelo matemático**,** materia prima**,** mezcla de crudo**,** fluorescencia de rayos X**,** analizador en línea.

Abstract

Research work developed in Guapán of the National Cement Union - UCEM-CEM this aimed to implement a software tool developed in Excel, using the appropriate mathematical model and previously knowing the results of the chemical composition of the raw materials used for the preparation of crude in the milling process, allow, to the Department of chemical laboratory immediately calculate and the ideal proportions of the different mineral components that provide the raw materials that used the Guapán plant and thus establish the optimal dosage possible in the preparation of the mixture of crude, which will undergo Rotary oven cooking for the obtaining of the clinker and that subsequently will be used in the final grinding for the manufacture of cement.

To obtain a trust database samplings representative available in plant raw materials were carried out and conducted trials for the determination of the chemical composition by complexometry traditional analytical method and also using the X-ray fluorescence that has the Guapán plant.

Finally with the retrieved tool, you can compare and control the results of the chemical composition of the mixture of raw results in real time which will determine the chemical Analyzer equipment line of next-generation technology that is being installed at the factory of the Guapán plant and will work soon.

Keywords: mathematical model, raw material, mixture of crude, X-ray fluorescence, on-line analyzer.

Contenido

Dedicatoria 9

Agradecimiento 10

Capítulo 1 11

1 Generalidades 11

1.1 Justificación 11

1.2 Alcance 11

1.3 Objetivos 13

1.3.1 Objetivo General 13

1.3.2 Objetivos Específicos 13

1.3.3 Antecedentes 14

1.3.4 "La Empresa 15

Misión.- 15

Identidad Corporativa 16

Valores Empresariales 16

Política de calidad 16

Capítulo 2 17

2 Proceso de Fabricación 17

2.1 Proceso de producción de cemento por vía seca 17

2.1.1 Trituración 17

2.1.2 Pre homogeneización 17

2.1.3 Molienda de Crudo 17

2.1.4 Homogeneización 18

2.1.5 Clinkerización y Enfriamiento 18

2.1.6 Molienda de cemento 19

2.1.7 Empaque y Despacho del Cemento 19

2.2 Laboratorio de Control de Calidad 19

2.3 Equipos y Maquinaria 21

2.4 Proceso de molienda de crudo.....24

2.3.1 Esquema del proceso.....25

2.3.2 Materias Primas Utilizadas.....25

2.3.2.1 Características Físico Químicas.....26

2.3.2.1.2 Arcilla.....28

2.3.2.1.3 Mineral de Hierro.....29

Capítulo 3.....30

3. Análisis y pruebas de las materias primas en el laboratorio de la Planta Guapán 30

3.1 Objetivos.....30

3.2 Caracterización de las calizas, arcillas, mineral de hierro, utilizadas en el proceso de fabricación de cemento en la planta Guapán de la UCEM.....31

3.2.1 Identificación, selección y clasificación.....32

3.2.2 Preparación de la muestras.....33

3.2.3 Ensayos físicos.....33

3.2.3.1 Humedad.....33

3.2.3.2 Densidad real.....35

3.2.4 Ensayos por Fluorescencia de Rayos X.....37

3.2.4.1 Objeto y aplicaciones.....37

3.2.4.3 Resultados.....40

3.2.5 Método de preparación por perlas fundidas.....43

3.2.6 Ensayos por el método complexométrico.....44

3.2.6.1 Objeto y aplicaciones.....44

3.2.7 Pérdidas por calcinación.....45

3.2.8 Análisis comparativo de resultados.....45

Capítulo 4.....49

4. Análisis y modelo matemático.....49

4.1 Objetivos.....49

4.2 Clasificación de los resultados de los análisis. 51

Método cruzado 52

Cálculo según el módulo hidráulico 53

Cálculo a partir del grado de saturación por la cal 54

Cálculo según el módulo de saturación a la cal y el módulo de Silicatos 54

4.3 Procesamiento de resultados de los análisis.....56

4.4 Conformación del modelo para diseños de mezclas de cuatro componentes. 60

4.5 Funcionamiento de la herramienta 64

5. Analizadores químicos en línea 68

5.1 Funcionamiento 68

5.2 Características 69

5.3 Objetivos de la instalación 70

5.4 Especificaciones.....71

5.5 Uso en las plantas de cemento 72

5.6 Uso de los resultados del software para configurar el analizador en línea. 72

Capítulo 6 73

Conclusiones y Recomendaciones 73

6.1 Conclusiones 73

6.2 Recomendaciones 76

Bibliografia.....77

Anexos.....79

1. Procedimiento para determinación de la humedad 79
2. Instructivo para determinación de la densidad 80
3. Instructivo para toma y preparación de muestras..... 81
4. Instructivo para análisis de muestras por Rayos X 83
5. Instructivo para determinación de la composición elemental..... 86
6. Procedimiento para validación de resultados en los análisis por fluorescencia de Rayos X 92
7. Instructivo para determinación de las Pérdidas por Calcinación 96

Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Yo, Juan Diego Espinoza Sornoza, autor de la tesis "**DESARROLLAR UN MODELO MATEMÁTICO DE MEZCLA DE MATERIAS PRIMAS EN LA LÍNEA DE MOLIENDA DE CRUDO CASO: PLANTA GUAPÁN**", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Químico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 18 de Marzo de 2015.

Juan Diego Espinoza Sornoza

C.I: 0106722333

Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Juan Diego Espinoza Sornoza autor de la tesis "**DESARROLLAR UN MODELO MATEMÁTICO DE MEZCLA DE MATERIAS PRIMAS EN LA LÍNEA DE MOLIENDA DE CRUDO CASO: PLANTA GUAPÁN**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca 18 de Marzo de 2015.

Juan Diego Espinoza Sornoza

C.I: 0106722333

Dedicatoria

A mis padres amados que han sido y serán ejemplo de superación y guía durante todo el camino recorrido.

A Dios por sus bendiciones y por regalarme la suerte de conocer a personas y amigos maravillosos que han hecho el camino mucho más placentero.

A mis hermanos por ser amigos incondicionales.

A Karen por ser mi compañía en todo momento.

Agradecimiento

Agradezco a mis padres por su enseñanza en el hogar que fue pilar fundamental para lograr mis objetivos con amor y respeto y por haberme mostrado el camino hacia el conocimiento; agradezco a Dios por darme la sabiduría para tomar decisiones correctas y cuidarme siempre en todo momento regalándome suerte y dicha en todos mis objetivos planteados para que estos se cumplan.

Agradezco de todo corazón a las personas que ayudaron a la realización de éste trabajo de forma directa o indirecta; a la Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Química a mis maestros que me enseñaron con paciencia y sacrificio, al Ing. Fernando Lloret que ayudó con sus conocimientos a fijar el alcance y camino para realizar el estudio correctamente. Un agradecimiento especial a la Compañía Industrias Guapán S.A. de la UCEM por abrirme sus puertas y al equipo de Laboratorio y Control de calidad de la planta a cargo del Ing. Patricio Ruiz quien ayudó en gran parte al desarrollo de éste documento.

Capítulo 1

1 Generalidades

1.1 Justificación

En los últimos años en la planta industrial Guapán, perteneciente a la UCEM-CEM, se ha invertido recursos a la investigación tecnológica, para desarrollar nuevas alternativas que ayuden a mejorar el rendimiento de los procesos con el uso de materias primas y con ello bajar el costo de producción de cemento, ya que el alza de estos costos de producción en las empresas de fabricación de cemento, se debe en gran parte a la disminución acelerada de los recursos de materias primas para la obtención del mismo, debido a ello éstos han determinado un papel prioritario indiscutible dentro del proceso. Además esto engloba el compromiso diario de la empresa por mantener un proceso limpio y amigable con el medio ambiente reduciendo la contaminación por emisión de CO_2 elemento producido en el proceso por la descomposición de carbonatos presentes en la materia prima para la fabricación del cemento.

La búsqueda de reproducibilidad de los elementos químicos que componen el cemento radica en el comportamiento del componente inicial del proceso de fabricación, es decir, la materia prima por lo que es de gran importancia analizar e investigar la composición de ésta para entender cómo utilizarla de la manera más adecuada y que nos dé mayor rendimiento en el proceso de fabricación, estimando de manera más acertada las dosificaciones necesarias para obtener un producto capaz de cumplir con los requisitos contemplados en las normas y reducir la variabilidad de la composición química del mismo; teniendo como resultado mayor estabilidad y reproducibilidad en los datos del proceso y en el producto final con la consecuente reducción de los costos de fabricación.

1.2 Alcance

La administración de la UCEM- C.E.M en su planta industrial Guapán, ha invertido precisamente en tecnología de punta con la instalación de modernos equipos como los analizadores en línea en el área de molienda de crudo y

equipos de fluorescencia y difracción de RX en el laboratorio, que permitirán un monitoreo constante y en tiempo real de la calidad de materia prima que es dosificada al proceso de producción en esta etapa.

El uso de esta tecnología en la fabricación de cemento no es nuevo y data de muchas décadas atrás con notables resultados tanto en la calidad de los cementos producidos así como en la rentabilidad de las empresas que lo usan, por lo que es de mucha importancia la instalación y puesta en funcionamiento de estos equipos; sin embargo, es imprescindible contar con una fuente de información inicial en cuanto a la composición química y propiedades físicas de la materia prima que se van a usar en el proceso productivo en las etapas iniciales.

En la actualidad el laboratorio de control de calidad de la Planta industrial Guapán, a través de los modernos equipos de fluorescencia de rayos x, está en capacidad de realizar los análisis de las materias primas que son utilizadas en el proceso de fabricación de cemento. Estos equipos están debidamente calibrados con entrada de información de muestras patrón con trazabilidad internacional, que permiten desarrollar programas para cada una de las materias primas, y garantizar la información que se genera, aportando favorablemente a la consecución de los estándares de calidad que el producto demanda.

De otro lado, en este laboratorio se mantienen las técnicas tradicionales de análisis químico en base a soluciones complexométricas, las cuales son utilizadas para contrastar los resultados y valorar los métodos de ensayos no normalizados.

Se pretende realizar un modelo de dosificación de las diferentes materias primas en la etapa de molienda de crudo en base a los resultados de los análisis químicos que se van a realizar a través de los métodos mencionados, con la finalidad de disponer de un soporte técnico previo a la instalación de los analizadores en línea.

El estudio tendrá lugar en la Planta Industrial Guapán, perteneciente a la Unión Cementera Nacional U.C.E.M, en el laboratorio de Control de Calidad, con el uso

de las técnicas de análisis modernas con la que se cuenta en la actualidad para monitorear la calidad de sus productos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo matemático para diseño de mezclas de crudo, controlando la composición química de las materias primas y cumpliendo las especificaciones de calidad del producto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características físico-químicas de las materias primas que son usadas en el proceso de molienda de crudo en la planta industrial Guapán

- Valorar las características de calidad de las materias primas mediante los procedimientos y técnicas de análisis empleados en el laboratorio de control de calidad

- Analizar la incidencia química y valoración económica del uso y aplicación de las materias primas con base al cálculo de la composición del crudo y de la fabricación del tipo de clinker que elabora la planta Guapán.

- Contar con una base mínima de datos de análisis químico de las materias primas que utiliza la Planta Guapán, facilitando información para el cálculo de dosificaciones de mezclas posibles en la obtención del crudo a utilizar para la fabricación del clinker

- Utilizar los resultados del modelo matemático para configurar de forma confiable las variables de control que utilizará el software utilizado por el nuevo equipo de análisis químico de la mezcla de crudo, en tiempo real (analizador en línea) que se instalará para control de la molienda de crudo.

1.3.3 Antecedentes

La planta Industrial de Guapán, de la Unión Cementera Nacional fue construida en el año 1962, iniciando la producción de cemento en el año de 1965, inicialmente con un proceso productivo por vía húmeda a 250 TMD. Se encuentra ubicada en la Parroquia Guapán, perteneciente al Cantón Azogues. Cuenta con una moderna planta cuyo proceso de producción es por vía seca, con una línea de 1100 TMD; en el proceso de fabricación de cemento se utiliza como materia prima principal, caliza con un alto grado de pureza como carbonato de calcio y además de otras como arcillas, puzolanas, yeso y mineral de hierro.

El proceso productivo requiere de una considerable cantidad de estas materias primas para satisfacer sus necesidades de funcionamiento.

A nivel nacional y específicamente en la planta industrial de Guapán, a través de estos últimos años se ha notado una acelerada reducción de materias primas tradicionales; afectada aún más por la distancia considerable a las fuentes de abastecimiento, lo que hace necesario contar con fuentes alternativas de materia prima, además de fortalecer las áreas productivas, el uso adecuado de recursos, la formación y capacitación del personal con la finalidad de reducir costos de fabricación y permitir que la empresa se mantenga sólida en su afán de crecimiento sostenido.

El uso adecuado de la tecnología así como la disponibilidad de fuentes de información ha permitido en estos últimos años contar con recursos favorables para hacer que el proceso productivo, siendo debidamente controlado en todas sus áreas, pueda aportar a la rentabilidad de la empresa como tal.

Creación de la UCEM-CEM

En la ciudad de Riobamba, el 18 de noviembre de 2013, se crea la Compañía de Economía Mixta “Unión Cementera Nacional, UCEM-CEM”, con el propósito de fusionar las compañías Industrias Guapán y Cementos Chimborazo C.A., ofreciendo una mayor capacidad de producción al mercado y robustecer la industria de cementos en el país.

Por medio de este acuerdo y fusión de las dos plantas se espera aumentar de manera significativa la producción de las plantas, hasta alcanzar las 1 600 000 toneladas en conjunto, para esto se está haciendo inversiones en tecnología de primer nivel e infraestructura necesaria para alcanzar este objetivo.

"La UNIÓN CEMENTERA NACIONAL, UCEM C.E.M. permitirá cumplir otros objetivos de la Estrategia Cementera Nacional que son: influenciar positivamente en el mercado nacional del cemento y la búsqueda e incorporación de un socio estratégico que potencialice a la UCEM."[1]

1.3.4 “La Empresa

Visión.-

Cimentar el desarrollo nacional, mediante la efectividad de sus procesos, talento humano calificado y comprometido para posicionarnos como la unión cementera líder en el mercado.

Misión.-

Producir y comercializar cemento y productos derivados con altos niveles de productividad y calidad para satisfacer las necesidades de sus clientes

[1] Garcés, Alex. 2013. Creación Unión Cementera Nacional con la fusión de Cemento Chimborazo e Industrias Guapán. Recuperado el 5 de diciembre del 2014 de: http://www.epce.gob.ec/web/index.php?option=com_content&view=article&id=154:creacion-union-cementera-nacional-con-la-fusion-de-cemento-chimborazo-e-industrias-guapan&catid=36:noticias-actuales-&Itemid=124

contribuyendo al desarrollo del país con responsabilidad socio-ambiental y crecimiento sostenido.

Identidad Corporativa.- La planta Industrial Guapán produce Cemento y derivados de alta calidad, mediante un modelo de gestión y mejoramiento continuo que tiene como objetivo asegurar la total satisfacción de sus clientes, el cuidado del medio ambiente y el desarrollo de sus recursos, la comunidad y el país.

Valores Empresariales:

• Solidaridad y Tolerancia.

• Responsabilidad y Compromiso.

• Transparencia y sinceridad.

• Respeto y compañerismo.

• Integridad y honestidad.

• Optimismo y pro-actividad.

Política de calidad

Unión Cementera Nacional Compañía de Economía Mixta produce y comercializa cemento y derivados con calidad, mediante un modelo de mejoramiento continuo de sus procesos para satisfacer los requerimientos de nuestros clientes." [2]

[2] La Empresa. Recuperado el 8 de diciembre del 2014 de: http://www.industriasguapan.com.ec/la-empresa

Capítulo 2

2 Proceso de Fabricación

2.1 Proceso de producción de cemento por vía seca

El proceso de fabricación de cemento en la planta Guapán de la UCEM se lo realiza mediante vía seca, éste consta de siete etapas secuenciales provistas de un sistema continuo el cual detallamos a continuación:

2.1.1 Trituración

Luego de extraer la materia prima de sus respectivas canteras y llevarla a la planta el proceso industrial se prosigue a la reducción del tamaño de la misma, teniendo en el inicio material o rocas con dimensiones de aproximadamente 1000 mm de diámetro y obteniendo en la salida, partículas menores a 25 mm.

2.1.2 Pre homogeneización

El material triturado es llevado al área destinada a la pre homogeneización y almacenamiento previo a la dosificación y molienda de crudo. En esta área se procede a realizar el apilamiento del material el cual se lo hace en tres pilas de 7,000 toneladas cada una, para luego proseguir a la recuperación a través de un sistema de rastrillo y transporte.

2.1.3 Molienda de Crudo

Es un área de suma importancia ya que aquí se prepara el material que va a entrar al proceso y se dosifica de tal manera que cumpla con los requisitos físico-químicos indispensables para la elaboración del clinker, materia principal del 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 0,8 %.

2.1.4 Homogeneización

Mejora la homogeneidad del material completando la mezcla de harina cruda. Este trabajo se lo realiza mediante la inyección de aire comprimido a impulsos para generar un movimiento cíclico interno del polvo. Se dispone de dos silos de homogenización de 1000 toneladas cada uno y dos silos de almacenamiento de 2000 toneladas cada uno.

2.1.5 Clinkerización y Enfriamiento

Es el área fundamental del proceso en donde la harina cruda reacciona químicamente a temperaturas entre 300 y 1500 grados centígrados para dar lugar a la formación del clinker de cemento. El material crudo ingresa a un precalentador ciclónico de suspensión que es calentado a contraflujo por intercambio térmico aprovechando los gases calientes de la combustión, el crudo ingresa al horno a una temperatura promedio de 800 °C, en el horno rotativo se completa la fase de descarbonatación del material hasta una temperatura de 1100 °C y luego se da la transformación físico-química de los compuestos mineralógicos principales del clinker de cemento: C2S, C3S, C3A y C4AF a temperaturas entre 1300 y 1450 °C. Finalmente el clinker caliente del horno es rápidamente enfriado desde los 1000°C a 90-120 °C para dar lugar a la formación de los cristales de alita y belita que son los compuestos que le confieren las propiedades características de resistencia a la compresión que adquiere posteriormente el cemento fabricado con clinker, yeso y adiciones en los molinos de cemento.

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 en conformidad al cumplimiento de especificaciones y requisitos contemplados en las normas, en este caso de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 490:2005.

2.1.7 Empaque y Despacho del Cemento

Para la venta de cemento a los consumidores, se dispone de un área totalmente moderna en la que se encuentran instaladas dos ensacadoras rotativas con capacidad de enfundar 2000 sacos de 50 kg cada una por hora. Además, de un silo metálico para despacho a granel con una capacidad de 1000 toneladas métricas.

2.2 Laboratorio de Control de Calidad

Tiene como objetivo garantizar la calidad del producto en todas las etapas del proceso, realizando análisis de control desde la materia prima, producto en proceso hasta el producto terminado, para mantener patrones de trabajo y cumplir con las normas requeridas para su comercialización. De esta manera ganarse la confianza de sus clientes brindándoles un producto de calidad constante a través de los años y así incrementar su reputación.

En el laboratorio se realizan 2 tipos de pruebas:

- Pruebas Físico Mecánicas
- Pruebas Químicas

Para una mejor organización estas se disponen en diferentes pisos del edificio

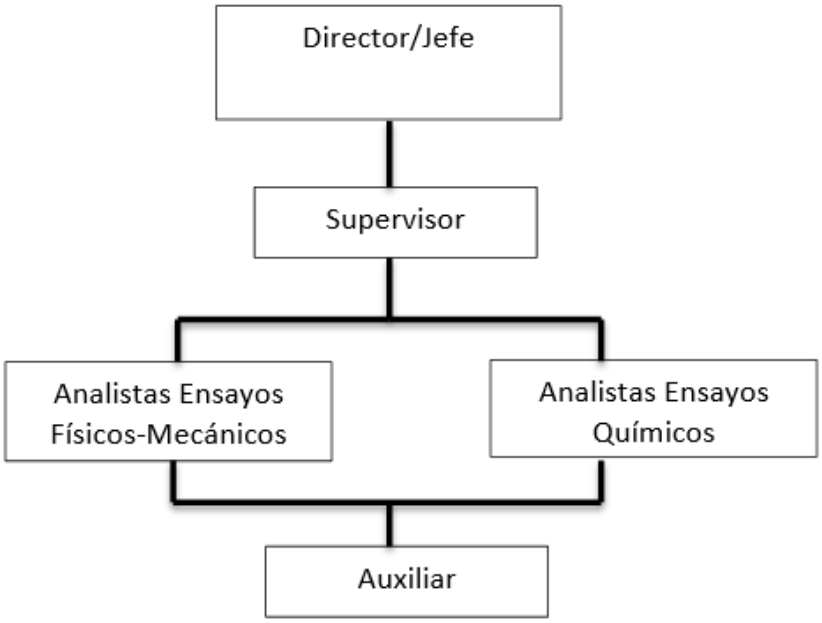
Actualmente consta de un edificio de 3 pisos de aproximadamente 300 m², donde la primera planta está asignada a las pruebas físicas y mecánicas, la segunda y tercera planta están dedicadas para las pruebas químicas y oficinas

administrativas respectivamente. Cuenta con la infraestructura adecuada para sus equipos y espacio suficiente para realizar los ensayos correspondientes, además tiene protecciones físicas para los equipos e instalaciones y cuenta en sus instalaciones con el equipo de seguridad necesario para salvaguardar la salud e integridad de los trabajadores que aquí laboran.

El laboratorio de la planta industrial Guapán es uno de los más importantes de toda la región ya que en él se pueden hacer ensayos, especialmente químicos, con mucha rapidez debido a la alta tecnología que tienen sus equipos, entre los más importantes podemos citar al de fluorescencia de RX y de difracción de RX que hacen que los ensayos de laboratorio sean de alta confiablidad y de gran velocidad, garantizando un control exhaustivo durante el proceso de elaboración del cemento.

Por otra parte el laboratorio cuenta con personal calificado para llevar adecuadamente las labores requeridas.

El organigrama del laboratorio de calidad es el siguiente



2.3 Equipos y Maquinaria

Triturador de Mandíbulas Generalmente se emplea en la fragmentación preliminar de rocas muy duras, son muy susceptibles a la humedad, y cuando se los alimenta con materiales húmedos o plásticos pueden formar atascos, dificultando el proceso de trituración. El desmenuzamiento se desarrolla entre dos mandíbulas para trituración, la una se fija y la otra la mueve la presión ejercida por palancas acodadas. **Cuarteador** Diseñado para reducir muestras de ensayo particularmente voluminosas en partes representativas. El material se recibe en tolvas. El cuarteador de muestras debe contar con un número igual de conductos, todos del mismo ancho y que descarguen alternamente a ambos lados del cuarteador; el número de conductos no debe ser menor de ocho para agregado grueso y no menor de 12 para	 

agregado fino. El cuarteador debe estar equipado con dos receptáculos para recibir las dos mitades de la muestra al cuartearse.

Plancha

Plancha dotada con resistencias eléctricas las cuales le permiten puede llegar a temperatura de trabajo de 200 ºC a 300ºC.

Balanza Analítica

Mide el peso exacto de la muestra a analizar

Vibromolino

Equipo en donde se inserta el disco triturador con la muestra para triturar el material, hasta quedar hecho un polvo muy fino. Utilizado en la pulverización de rocas, suelos, cementos, vidrio y otros métodos de química húmeda.

Se pulverizan en este equipo hasta 100g de muestra.

Disco triturador Consta de un cilindro central y de un disco externo ambos de gran peso y dureza, en donde vamos a introducir el material y con ayuda del vibromolino darán movimiento por un tiempo determinado hasta que el material quede finamente molido o hecho polvo.	
Prensa Hidráulica Se forma una pastilla prensando el material un tiempo determinado, trabaja a una presión de 20kN, con ella formamos pastillas de material para ser analizado en el equipo de rayos X.	
Fluorescencia de rayos X Analiza la composición química de la muestra comparándola con la curva obtenida por las muestras estándares con las cuales es calibrada semanalmente.	

2.4 Proceso de molienda de crudo

Molienda de Crudo.

Figura 1 Imagen del Molino de Bolas marca Fuller Co.
Fuente: Compañía Industrias Guapán S.A.

El objetivo de esta área es el de dosificar y preparar la materia prima de acuerdo a los requerimientos físico-químicos para la elaboración del crudo, que luego se transformará por cocción en el horno rotativo, en 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 20 % con una humedad del producto menor al 0,8%. El equipo principal de esta área 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 TMPH.

2.3.1 Esquema del proceso

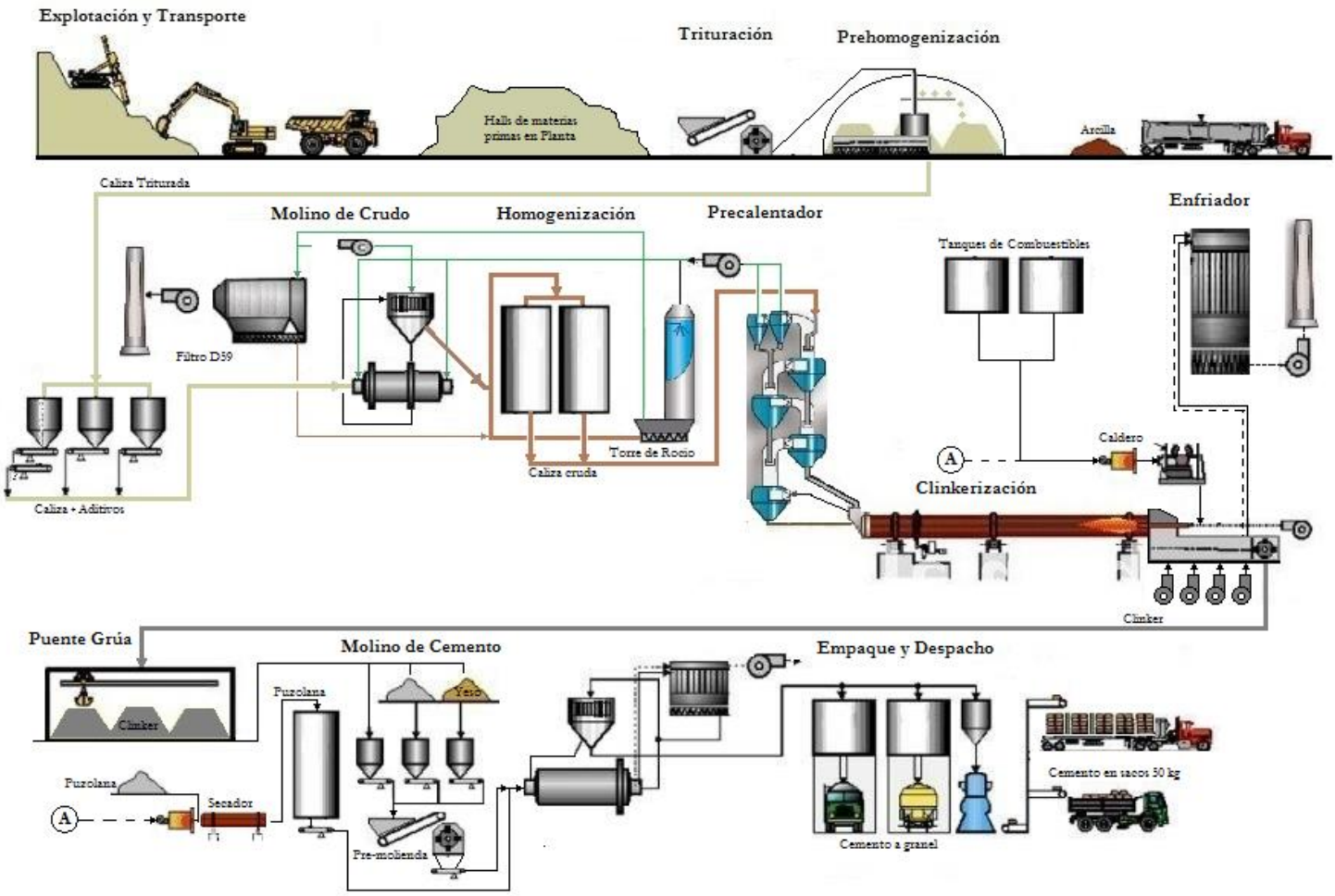


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO
Fuente: Departamento de Planificación y Procesos: UCEM-CEM - Planta Guapán 2014-

2.3.2 Materias Primas Utilizadas

Las materias primas utilizadas en el proceso de fabricación de cemento son de suma importancia ya que de su composición dependerá el manejo de las mismas y las dosificaciones necesarias para obtener una mezcla de crudo que al convertirlo en cemento cumpla con los requerimientos de calidad que estipula la normativa.

En la Planta Guapán de la U-CEM las materias primas utilizadas son calizas, mineral de hierro y arcillas, dentro de las cuales el mineral de hierro y las arcillas contienen una gran estabilidad en los valores de su composición química, no obstante, las calizas al ser traídas de diferentes regiones del país, es decir de diferentes canteras, los resultados de su composición varían según su procedencia, siendo esto un serio problema que incide en la excesiva variabilidad que presenta la composición química de la mezcla de crudo que ingresa al horno rotativo para el proceso de cocción, afectando a la estabilidad del proceso de cocción y por tanto variando continuamente la calidad del clinker que se obtiene en el horno.

Debido a esto se han realizado estudios del comportamiento de cada una de ellas según su composición química y se realizan análisis diariamente del material que va a entrar en el proceso de molienda de crudo.

2.3.2.1 Características Físico Químicas

2.3.2.1.1 Caliza.- "La caliza o por su nombre químico carbonato cálcico abunda en la naturaleza. Las formas más puras de calizas son el espato calizo (calcita) que cristaliza en el sistema hexagonal y el aragonito, en el sistema rómbico. El peso específico entre sus variedades esta entre los valores de 2,70 el espato calizo y el aragonito 2,95. Una variedad de espato calizo, de grano macroscópico es el mármol. Seria antieconómico emplear mármol para fabricar cemento.

La forma común del carbonato cálcico y la más parecida al mármol está constituidas por la caliza y la creta. La caliza posee, por lo general, estructura cristalina de grano fino. La dureza de la caliza viene determinada por su edad geológica; cuanto más antigua es la formación tanto más dura suele ser la caliza. La dureza de la caliza está comprendida entre 1,8 y 3,0 de la escala de Mohs; su peso específico varía entre 2,6 a 2,8. Solamente los yacimientos de caliza muy pura son de color blanco. Usualmente la caliza contiene otros materiales pertenecientes a sustancias arcillosas o a minerales de hierro que influyen en su color.

2.3.2.1.1.1 Calizas margas.- A calizas que van acompañadas de sílice y de productos arcillosos, así como de óxido de hierro, se les llama margas. Las margas forman el paso de transición a las arcillas. Debido a su abundancia las margas se utilizan con mucha frecuencia como materia prima para la fabricación de cemento.

Geológicamente, son rocas sedimentarias originadas por la deposición simultánea de carbonato de calcio y de material arcilloso. La dureza de la marga es menor que la de la caliza, cuanto más elevada es su concentración en material arcilloso, tanto menos dura se presenta. A veces, las margas contienen sustancias bituminosas. El color de la marga depende del material arcilloso que contiene y varía desde el amarillo hasta el gris oscuro. Las margas son un excelente material para la fabricación de cemento, puesto que contienen el material calcáreo y arcilloso en estado homogenizado. Las margas calcáreas, cuya composición coincide con el crudo de cemento portland, hallan aplicación en la fabricación del llamado cemento natural. Sin embargo, es raro hallar yacimientos de tales materias primas. Según las reacciones entre componentes calcáreos y arcillosos en las materias primas podemos distinguir:"[3]

Tabla 1 Composición de CaCO3 en algunos minerales.

Mineral	**Contenido de CaCO3**
Caliza de alto porcentaje	96------100%
Caliza Margosa	90------96%
Marga Calcárea	75------90%
Marga	45------75%
Marga Arcillosa	10------40%
Arcilla Margosa	4-------10%
Arcilla	0--------4%

Fuente: Duda,W. Manual Tecnológico del cemento (1977), p1.

[3] Duda, W. Manual Tecnológico del cemento (1977), p1.

2.3.2.1.1.2 Calizas Calcáreas.- Las calizas que se encuentran compuestas en mayor cantidad por carbonato de calcio reciben el nombre de calizas calcáreas. Pueden venir de origen marino o lacustre, una variedad conocida son los travertinos que son unas rocas calizas porosas y poco densas, formadas por precipitación de carbonato de calcio sobre los vegetales del entorno de fuentes. Reciben también el nombre vulgar de piedra tosca.

Usos y aplicaciones de las rocas calcáreas

Las rocas calcáreas se explotan como material para la construcción, en la industria de cemento, mientras que antiguamente se habían utilizado para fabricar cal.

Principales derivados de las rocas calcáreas

A partir de las rocas calcáreas se pueden obtener diferentes tipos de cal como son:

-Cal

-Cal viva

-Cal hidratada

-Cal hidráulica

2.3.2.1.2 Arcilla.- "La segunda materia prima importante para la fabricación de cemento es la arcilla. Las arcillas, en esencia, son productos de meteorización de silicatos de los metales alcalinos y alcalinotérreos, en particular de los feldespatos y micas.

La parte principal de las arcillas está formada por hidrosilicatos de alúmina. A las arcillas se las puede clasificar en los siguientes grupos de minerales:

a) Grupo del Caolín:

Caolinita $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

Dickita $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

Nacrita $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

Halloysita $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

b) Grupo de la Montmorillonita:

Montmorillonita $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + nH_2O$

Beidellita $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot nH_2O$

Nontronita $(Al,Fe)_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot nH_2O$

Saponita $2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot nH_2O$

c) Grupo de las arcillas que contienen metales alcalinos o alcalinotérreos: Micas arcillosas, incluida la illita K_2O-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O, en cantidades variables.

Los minerales del grupo del caolín se distinguen por su diferente riqueza en SiO_2, así como por su estructura cristalográfica y sus propiedades ópticas. La denominación de caolinita se aplica al mineral caolín puro."[4]

Las superficies específicas de los minerales de la arcilla son:

Mineral	Superficie Específica m^2/g
Caolín	aproximadamente 15
Halloysita	aproximadamente 43
Ilita	aproximadamente 100
Montmorillonita	aproximadamente 800

Tabla 2. Superficie específica de los minerales de arcilla.

Fuente: Duda,W. Manual Tecnológico del cemento (1977), p2.

2.3.2.1.3 Mineral de Hierro.- Se denomina mineral de hierro a aquellos minerales de los cuales es posible extraer hierro metálico; la mayor parte de los minerales de hierro son óxidos, anhídridos e hidratados y carbonatos. Bajo el punto de vista industrial, solamente los óxidos son fáciles de tratar directamente, puesto que los carbonatos exigen ser calcinados previamente.

Clasificación por su riqueza

a) Minerales pobres con porcentajes en hierro < que 30%

b) Minerales medios con porcentajes de hierro 40 a 45%

c) Minerales ricos con porcentajes en hierro > que 45%

[4] : Duda,W. Manual Tecnológico del cemento (1977), p2.

Capítulo 3

3. Análisis y pruebas de las materias primas en el laboratorio de la Planta Guapán

3.1 Objetivos.

La importancia de mantener las propiedades del producto final lo menos variable posible y dentro de un rango que cumpla con las especificaciones de la norma, radica de gran manera en la dosificación adecuada de las materias primas que van a entrar en el proceso inicial, es decir, en la molienda de crudo ya que esto va a definir el producto final y su calidad. Debido a esto la empresa Guapán ha trabajado constantemente con un proceso de análisis de muestras con uso de equipos de alta tecnología para conocer la composición química de las materias primas, que le permite controlar el proceso de la manera más eficaz posible.

El avance tecnológico exponencial del mundo en las últimas décadas ha llevado a una etapa de transición constante e irremediable en las fábricas por lo cual cada una debe desarrollar procesos e implementar equipos innovadores de tal manera que la fábrica pueda mantenerse en competencia con las demás, para esto se necesita una visión abierta al desarrollo y a la evolución de la misma con el fin de mejorar el rendimiento del proceso y por lo mismo el de la fábrica.

Para cumplir esta misión el grupo de trabajo de Guapán de la UCEM ha decidido implementar en el control del proceso de molienda de crudo un equipo analizador químico en línea que determine en tiempo real la composición de la mezcla de crudo que permitirá controlar más adecuadamente la dosificación de las materias primas que entran al proceso y buscará solución a cualquier problema que se encuentre al momento de dosificar la mezcla, realizando un análisis inmediato de la misma y variando la cantidad de materia prima, de forma tal que se llegue siempre a la composición química de diseño del crudo determinado por el químico de la Planta y la que sea necesaria para obtener un producto que cumpla con todos los requisitos de calidad del clinker a fabricar.

Para que el nuevo equipo analizador en línea se acople a la situación real de la fábrica y se pueda configurar adecuadamente en el software del equipo los rangos químicos máximos y mínimos de las variables a monitorear en la composición de la mezcla de crudo se hizo necesario, realizar el muestreo y análisis químico y físico de las materias primas que usualmente utiliza la empresa con el propósito de contar con una base de datos alta confiabilidad, que ayude a simular el comportamiento químico que se obtiene en la mezcla de crudo durante el proceso real de medición y control.

3.2 Caracterización de las calizas, arcillas, mineral de hierro, utilizadas en el proceso de fabricación de cemento en la planta Guapán de la UCEM.

Caliza Guayas.- Son calizas traídas del Cerro Blanco de la provincia del Guayas con título alto, es decir, alto contenido de Carbonato de Calcio mayor a 90%, además que contienen composición muy homogénea.

Caliza Méndez.- Obtenidos de la cantera Gretha Piedad (Cantón Santiago de Méndez de la provincia de Morona Santiago) ubicada a 176 km de Azogues, calizas con un contenido de Carbonato de Calcio de 85 a 90 %, además que contienen otros minerales como Al que ayudan al proceso.

Caliza Mangán.- Son calizas y tufos calcáreos con un contenido promedio de Carbonato de Calcio de 75%, su cantera se encuentra en el cantón Biblián, también proveen al proceso de otros materiales como arcilla y hierro.

Mineral de Hierro.- Los minerales de hierro son los tipos de rocas y minerales de hierro que se pueden extraer para uso comercial. El mineral marino para la planta es extraído de las costas de entre Esmeraldas y la península de Santa Elena y está compuesto por magnetita, hematita, ilmenita; con una mayor riqueza de estos componentes en el mineral de la provincia de Esmeraldas.

Arcillas.- Provenientes de canteras de los sectores de Cochancay y San Marcos (sector La Pirámide) ambas ubicadas en la provincia de Cañar. Para la industria del cemento las arcillas son usadas como una fuente de SiO_2 finamente dividido, por vía química o mecánica, con cantidades de Al_2O_3 y Fe_2O_3 deseadas para la

sinterización. Las arcillas son aquellas substancias terrosas formadas principalmente por aluminosilicatos con materia coloidal y fragmentos de rocas, que generalmente se hacen plásticas cuando están húmedas y pétreas por la acción del calor.

3.2.1 Identificación, selección y clasificación.

Con el fin obtener una base de datos confiable se llevó a cabo un método apropiado para análisis de cada una de las muestras siguiendo la reglamentación usada en la planta Guapán de la UCEM para asegurar la calidad de los análisis.

Selección.- En los halls de almacenamiento de la fábrica, las materias primas se encuentran clasificadas en distintas zonas, apiladas de tal manera que se pueda cargar con facilidad en los volquetes utilizando los equipos de carguío correspondientes, para realizar el estudio, se tomó diez (10) muestras de cada una de las materias primas usadas en el proceso, haciendo un total de 50 muestras, tomándose de distintos lugares del hall de la fábrica en donde se encuentra cada material proveniente de la cantera respectiva. Además con efecto de ampliar el alcance del modelo matemático se realizó un muestreo de las mezclas de calizas provenientes del proceso de pre-homogeneización y a las arcillas que se encuentran en la tolva de adición tomadas en la banda transportadora de dosificación luego de ser previamente tratadas.

Clasificación.- Las muestras se clasificaron según la zona de la cantera de donde provienen, en el caso de las calizas se clasificaron como: caliza de Guayas, Méndez y Mangán; en el caso de las arcillas y mineral de hierro se clasificaron cada uno como su nombre lo indica, además las muestras de calizas y arcillas que se tomaron de material dentro del proceso llevaron el nombre de mezcla de calizas y arcillas-banda.

Identificación.- Las muestras tomadas de cada material se llevaron al laboratorio en fundas cerradas herméticamente, cada muestra tomada debía contener una cantidad aproximada de 1Kg del material, luego se procedía a

rotular con la fecha, número de muestra, tipo de muestra sea esta caliza, arcilla, o mineral de hierro

3.2.2 Preparación de la muestras.

Luego de ser identificadas se procedió a preparar las muestras según el instructivo para toma y preparación de muestras del área de calidad de la Unión cementera Nacional Planta Guapán (Código: I.CK-7.1-01) el cual se detalla en el **anexo 3**:

3.2.3 Ensayos físicos.

3.2.3.1 Humedad.

Definición.- Se denomina humedad a la cantidad de agua superficial presente en una muestra expresada en porcentaje.

Para determinar la humedad de cada una de las muestras se siguió el procedimiento que utiliza el personal de control de calidad de la fábrica el cual se encuentra en el **anexo 1.**

Resultados:

Al realizar la medición de la humedad en las muestras analizadas se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3: Humedad determinada en las calizas de Méndez

MENDEZ				Fecha:26/9/14
Muestra #	po (g)	pf (g)	muestra (g)	Humedad %
1	156,52	156,1	50	0,84
2	207,95	207,81	100	0,14
3	206,52	205,8	100	0,72
4	203,06	200,84	100	2,22
5	160,89	160,23	100	0,66
6	205,89	205,26	100	0,63
7	207,95	202,39	100	5,56
8	205,83	205,57	100	0,26
9	160,67	158,86	100	1,81
10	206,04	205,47	100	0,57

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 4: Humedad determinada en las calizas de Guayaquil

GUAYAQUIL				Fecha:3/10/14
Muestra #	po (g)	pf (g)	muestra (g)	Humedad %
1	158,88	158,43	50	0,90
2	160,68	148,52	100	12,16
3	206,09	205,13	100	0,96
4	203,67	203,2	100	0,47
5	206,56	205,57	100	0,99
6	206,06	205,81	100	0,25
7	205,87	203,5	100	2,37
8	201,9	197,94	100	3,96
9	160,89	155,87	100	5,02
10	160,77	159,5	100	1,27

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 5: Humedad determinada en las calizas de Mangan

MANGAN				Fecha:7/10/14
Muestra #	po (g)	pf (g)	muestra (g)	Humedad %
1	160,65	133,2	100	27,45
2	160,9	143,8	100	17,10
3	205,89	203,86	100	2,03
4	207,98	205,97	100	2,01
5	207,9	205,83	100	2,07
6	160,89	160,23	100	0,66
7	206,13	205,08	100	1,05
8	160,65	157,27	100	3,38
9	206,14	203,93	100	2,21
10	205,9	204,24	100	1,66

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 6: Humedad determinada en las muestras de Arcilla

ARCILLA				Fecha:10/10/14
Muestra #	po (g)	pf (g)	muestra (g)	Humedad %
1	207,98	178,78	100	29,20
2	203,7	175,22	100	28,48
3	206,14	174,34	100	31,80
4	162,58	135,57	100	27,01
5	160,69	131,01	100	29,68
6	206,07	175,28	100	30,79
7	229,18	198,55	100	30,63
8	214,76	184,72	100	30,04
9	214,51	182,77	100	31,74
10	208,24	178,75	100	29,49

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 7: Humedad determinada en las muestras de Mineral de hierro.

MINERAL DE HIERRO				Fecha: 11/10/14
Muestra #	po (g)	pf (g)	muestra (g)	Humedad %
1	153,07	151,01	50	2,06
2	156,11	155,87	50	0,24
3	158,01	157,74	50	0,27
4	151,91	151,69	50	0,22
5	154,27	153,99	50	0,28
6	153,06	152,78	50	0,28
7	156,19	155,74	50	0,45
8	157,97	156,11	50	1,86
9	154,28	151,24	50	3,04
10	151,95	149,27	50	2,68

Fuente: Espinoza 2014

3.2.3.2 Densidad real

Definición.- La densidad real se lo define como la masa sobre el volumen que ocupa esta masa

El procedimiento para determinación de la densidad se encuentra adjunto en el **anexo 2**

Resultados:

Todos los análisis de densidad se realizaron la misma fecha 20/10/14. De esta manera se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 8: Densidad determinada en las calizas de Méndez.

MENDEZ				
Muestra #	peso(g)	vol_1(ml)	vol_2(ml)	Densidad g/ml)
1	111,11	700	740	2,78
2	97,72	740	775	2,79
3	83,02	775	808	2,52
4	86,64	808	840	2,71
5	33,93	840	857	2,00
6	54,1	857	877	2,71
7	54,83	877	900	2,38
8	50,24	900	920	2,51
9	31,98	920	930	3,20
10	33,25	930	943	2,56

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 9: Densidad determinada en las calizas de Guayaquil.

GUAYAQUIL				
Muestra #	peso(g)	vol_1(ml)	vol_2(ml)	Densidad g/ml)
1	33,22	700	715	2,21
2	89,93	715	752	2,43
3	91,18	752	798	1,98
4	107,76	798	830	3,37
5	44,08	830	848	2,45
6	50,75	848	870	2,31
7	93,29	870	910	2,33
8	33,41	910	923	2,57
9	113,02	923	987	1,77
10	89,45	860	887	3,31

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 10: Densidad determinada en las calizas de Mangan.

MANGAN				
Muestra #	peso(g)	vol_1(ml)	vol_2(ml)	Densidad g/ml)
1	26,6	850	870	1,33
2	34,57	870	896	1,33
3	51,48	896	918	2,34
4	67,6	918	947	2,33
5	57,57	947	993	1,25
6	81,07	800	834	2,38
7	117,9	834	880	2,56
8	47,4	880	900	2,37
9	93,69	900	930	3,12
10	63,76	800	827	2,36

Fuente: Espinoza (2014).

La densidad de las muestras de arcillas y el mineral de hierro fueron tomadas de los datos registrados en el laboratorio de calidad de la planta Guapán de la UCEM

3.2.4 Ensayos por Fluorescencia de Rayos X.

En la industria Guapán de la UCEM se realiza análisis de rutina para controlar que el producto cumpla con los requisitos requeridos en la norma, esto se lleva a cabo mediante la inspección del material en distintas zonas del flujo del proceso. En un principio este análisis se realizaba mediante los métodos químicos tradicionales de complexometría que no es más que un método analítico manual muy exacto y preciso en sus resultados pero, con la desventaja que presenta al tomar demasiado tiempo para obtener resultados. Debido a esto la efectividad del método de RX es sin duda mucho mejor ya que nos permite conocer resultados en pocos minutos del material analizado.

3.2.4.1 Objeto y aplicaciones.

"El análisis de RX es un análisis no destructivo de la muestra ya que a más de preparar la muestra, esta no se necesita someter a ningún proceso químico antes del análisis. En la industria cementera se utiliza este método ya sea por análisis elemental cuantitativo por fluorescencia (espectrometría de RX) o para determinación cuantitativa de fases por difracción (difractometría de rayos X).

En la industria del cemento se utiliza el análisis por fluorescencia de RX basándose en el principio de dispersión de longitudes de onda ya que por su efectividad y su resolución alta obtiene datos con errores muy pequeños.

El fundamento físico de este análisis se basa en la ecuación de Bragg:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \text{Sen}\theta$$

en donde:

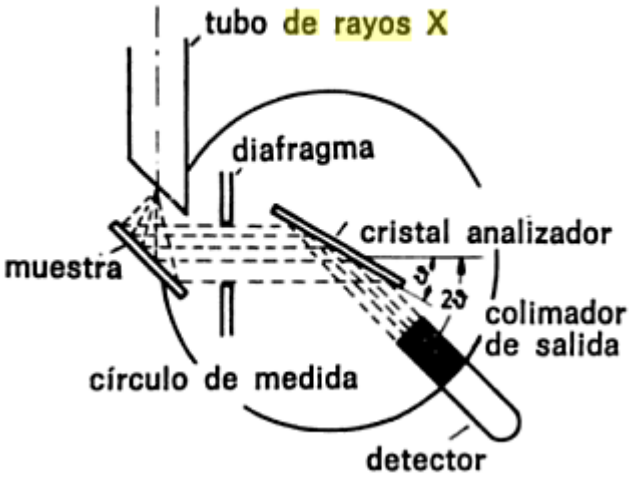
λ= Longitud de onda de la radiación.

d= espaciado de los planos reticulares del cristal.

n= número entero (orden).

θ= ángulo de incidencia y refracción.

En el caso de fluorescencia de rayos X se conoce los valores de **d** y **θ** mediante el equipo mientras que **λ** se determina por medición experimental



Marcha De la radiación en el análisis espectrométrico

Fuente: Otto Labanmh, B. kolhaas. Prontuario del cemento (1985), p165.

Los espectrómetros de fluorescencia de RX son utilizados independientemente como equipos de análisis o a un equipo computador para realizar análisis de control de procesos

Se trata de un método no destructivo en el sentido de que la muestra no sufre daños durante el análisis. Las muestras analizadas pueden volver a analizarse las veces que se desee sin que sufran daños (muestras patrones, piedras preciosas, pruebas judiciales, objetos de arte, antigüedades, etc.) Existen ciertas limitaciones a este carácter no destructivo, ya que algunos materiales pueden deteriorarse cuando están sometidos durante largos periodos a una intensa irradiación con RX.”[5]

“Las muestras pueden encontrarse en una gran variedad de formas, tales como sólidos, pastillas, polvos, líquidos, películas finas e incluso gases. El material

[5] Otto Labanmh, B. kolhaas. Prontuario del cemento (1985), p165

puede ser metal, mineral, cerámico, vidrio, plástico, tela, papel, etc. La forma y tamaño también puede ser muy variable. Es aplicable a un rango de concentraciones amplio, desde 0,001 % hasta 100%, en los casos más favorables. Es suficiente la construcción de una única recta de calibrado para todo el intervalo de concentraciones sin necesidad de dividirlo por zonas. La sensibilidad es mayor cuanto mayor es el número atómico del elemento presente y menores los números atómicos de los que forman la matriz.

El tamaño y la forma de las partículas son importantes y determinan el grado de absorción o dispersión del haz incidente. Los patrones y las muestras deben molerse a la misma finura de malla, de modo que los errores causados por las diferencias en la densidad aparente pueden evitarse adicionando un patrón interno a la muestra. Las muestras líquidas son de más fácil manejo, por lo que si un sólido puede disolverse en forma conveniente, su análisis se simplifica bastante y se mejora la precisión del ensayo.

Entre sus desventajas y limitaciones, se cita la necesidad de disponer de patrones generalmente caros, aunque no se deterioran; además, existe una cierta problemática en el análisis de los elementos ligeros, por su baja sensibilidad debida a fenómenos de absorción. Como la penetración es baja, pueden influir efectos de microheterogeneidad, por el tamaño de partícula y textura de la superficie, lo que supone una variación de una muestra a otra. Por último, comentar que el coste de la instrumentación es bastante elevado, y además requiere equipo adicional (hornos, molinos, prensas, etc.) para la preparación de las muestras, junto con acondicionadores de aire, componentes y accesorios caros."[6]

"En cuanto al equipo utilizado en la planta es el S8 TIGER el cual combina una exactitud y una precisión superiores con una preparación de muestras rápida y sencilla para el análisis de elementos, que incluyen desde el berilio (Be) hasta el

[6] Fluorescencia de rayos X, Recuperado el 8 de Diciembre del 2014 de: http://www.rpsqualitas.es/documentacion/dowloads/instrumental/fluorescencia_de_rayos_x.pdf

uranio (U) y en una gama de concentración desde el 100% hasta el subnivel de ppm.

La fluorescencia de RX de dispersión por longitud de onda (EDXRF) es la mejor opción para aplicaciones especializadas en control de calidad y procesos con requisitos de facilidad de uso y tamaño compacto. Ofrece flexibilidad analítica para tareas de investigación y supervisión.

La espectrometría de fluorescencia de RX de dispersión por longitud de onda (WDXRF) se conoce por su exactitud, precisión y fiabilidad incomparables."[7]

3.2.4.3 Resultados:

En el **anexo 4** se detalla el instructivo para análisis de muestras por RX empleado por la planta Guapán de la UCEM y que se aplicó para obtener los resultados

Al haber realizado este análisis siguiendo el respectivo procedimiento, según como indica la norma, se obtuvieron los siguientes resultados; todos los valores están dados en porcentaje:

Tabla 11: Resultados de la composición Química de las muestras de caliza de Méndez.

Méndez					Fecha:1/10/14				
Muestras	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	SO3	Titulo
1	12,789	0,711	0,391	45,937	0,446	0,020	0,217	0,446	82,030
2	4,668	0,161	0,154	52,611	0,526	0,012	0,090	0,315	93,950
3	13,062	2,434	0,990	44,351	0,509	0,035	0,552	1,062	79,200
4	42,404	13,576	2,589	8,850	1,664	0,659	1,927	1,706	15,800
5	19,850	2,556	0,888	40,480	0,578	0,079	0,456	0,370	72,280
6	13,314	1,830	0,897	45,367	0,732	0,066	0,379	0,198	81,010
7	26,224	6,562	2,029	30,847	0,964	0,262	1,015	0,692	55,080
8	5,228	0,464	0,311	51,802	0,416	0,040	0,146	0,170	92,500
9	4,701	1,155	5,208	45,337	0,829	0,077	0,224	4,262	80,960
10	13,859	1,488	0,766	45,986	0,436	0,025	0,355	0,178	82,120
Pomedio	13,055	1,658333	0,759333	45,21833	0,5623	0,040333	0,38267	0,56867	80,747

Fuente: Espinoza 2014

[7] Equipo de rayos X bruker s8 Tiger. Recuperado de: http://www.bruker.com/es/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/x-ray-fluorescence.html

Tabla 12: Resultados de la composición Química de las muestras de caliza de Guayaquil.

Guayaquil					Fecha:3/10/14				
Muestra	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	SO3	Titulo
1	1,487	0,15	0,115	54,448	0,468	0,017	0,8	0,075	97,23
2	23,623	6,034	2,508	31,602	0,961	0,087	0,331	0,125	56,43
3	76,398	0,52	0,457	6,242	0,249	0,032	0,212	0,079	11,15
4	1,973	0,161	0,104	54,654	0,534	0,012	0,075	0,071	97,6
5	4,965	0,367	0,19	52,218	0,641	0,025	0,101	0,088	93,25
6	1,288	0,131	0,075	54,996	0,406	0,001	0,076	0,07	98,21
7	33,766	1,201	0,51	31,385	0,596	0,069	0,238	0,092	56,04
8	22,813	2,204	1,001	41,706	0,819	0,076	0,356	0,102	74,48
9	21,806	5,383	2,349	33,992	0,923	0,116	0,293	0,115	60,7
10	14,193	0,875	0,4	45,372	0,608	0,036	0,151	0,087	81,66
Promedio	9,579	0,621	0,295	48,795	0,6245	0,0305	0,126	0,0875	87,455

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 13: Resultados de la composición Química de las muestras de caliza de Mangán

MANGAN					Fecha: 8/10/14				
Muestra	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	SO3	Titulo
1	13,35	3,889	5,293	30,242	1,121	0,336	0,5	0,197	54
2	9,417	2,817	6,318	31,303	1,107	0,255	0,363	0,232	55,9
3	2,51	0,398	1,164	48,005	0,488	0,176	0,94	0,074	85,72
4	2,568	0,799	4,526	43,38	0,642	0,142	0,146	1,043	77,46
5	0,718	0,169	0,375	47,794	0,805	0,175	0,074	0,163	85,35
6	0,831	0,149	3,58	40,699	0,965	0,126	0,1	0,212	72,68
7	1,022	0,251	1,828	50,176	0,472	0,131	0,088	0,299	89,6
8	4,339	1,259	3,364	45,293	0,459	0,112	0,147	0,287	80,88
9	0,553	0,109	1,01	48,922	0,504	0,181	0,074	0,155	87,36
10	0,744	0,184	1,754	47,609	0,59	0,15	0,084	0,179	85,02
Promedio	2,5416667	0,742333	2,755	45,489	0,6353	0,143	0,12233	0,49767	81,23

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 14: Resultados de la composición Química de las muestras de arcilla.

ARCILLAS					Fecha: 10/10/14				
MUESTRA	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	TiO2	K2O	MgO	MnO	SO3
1	45,19	27,62	13,42	1,11	1,16	0,82	0,81	0,16	0,05
2	45,68	28,04	13,68	0,43	1,23	0,37	0,7	0,13	0,04
3	45,55	28,07	13,39	0,34	1,2	0,53	0,68	0,16	0,03
4	43,61	27,01	13,21	1,14	1,14	0,89	0,79	0,2	0,08
5	43,37	27,32	13,3	0,55	1,18	0,59	0,67	0,14	0,05
6	43,38	26,91	13,47	0,92	1,18	0,52	0,68	0,14	0,15
7	45,59	27,39	13,49	0,33	1,14	0,5	0,7	0,16	0,04
8	44,58	27,57	13,87	0,49	1,17	0,55	0,69	0,18	0,04
9	44,35	27,31	13,6	0,36	1,09	0,93	1,03	0,25	0,04
10	44,49	27,58	13,4	0,45	1,14	0,67	0,69	0,2	0,03
Promedio	44,579	27,482	13,483	0,612	44,579	27,482	13,483	0,172	0,612

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 15: Resultados de la composición Química de las muestras de mineral de hierro.

MINERAL DE HIERRO					Fecha 11/10/2014				
Muestra	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	TiO2	Na2O	V2O5	P2O5
1	26,42	6,21	44,95	4,17	4,53	15,78	1,64	0,42	0,4
2	27,92	6,42	43,6	4,92	4,41	15,16	1,59	0,42	0,39
3	27,63	6,2	43,88	4,75	4,86	15,43	1,68	0,41	0,44
4	28,89	6,44	42,45	4,67	5,04	14,86	1,63	0,4	0,44
5	25,8	5,78	45,51	4,23	4,68	15,79	1,5	0,43	0,44
6	27,56	6,1	44,07	4,38	4,94	15,08	1,6	0,42	0,43
7	27,46	6,35	42,7	5,52	4,57	14,93	1,52	0,42	0,46
8	27,05	6,17	44,86	4,1	4,54	15,61	1,62	0,44	0,46
9	26,03	5,87	37,94	12,1	3,59	13,37	1,37	0,35	0,39
10	27,81	6,11	43,8	4,69	4,82	14,87	1,57	0,4	0,42
Promedio	27,257	6,165	43,376	5,353	4,598	15,088	1,572	0,411	0,427

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 16: Resultados de la composición Química de las muestras de banda de caliza (alimentación 1).

ALIMENTACIÓN 1					Fecha:	13/10/2014			
SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	SO3	TiO2	TITULO
11,6	1,89	1,243	44,47	0,6	0,08	0,2	0,3	0,091	79,73
11,69	1,93	1,252	44,53	0,6	0,07	0,21	0,3	0,091	79,83
11,74	1,95	1,267	44,35	0,61	0,08	0,2	0,3	0,092	79,51

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 17: Resultados de la composición Química de las muestras de banda de caliza (alimentación 2).

ALIMENTACIÓN 2 Fecha: 13/10/2014									
SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	SO3	TiO2	TITULO
13,35	2,38	1,685	42,8	0,74	0,11	0,25	0,36	0,108	76,89
13,5	2,44	1,695	42,88	0,74	0,12	0,26	0,37	0,109	77,04
13,47	2,43	1,688	42,83	0,75	0,11	0,25	0,36	0,109	76,95

Fuente: Espinoza 2014

Tabla 18: Resultados de la composición Química de las muestras de arcilla- banda.

ARCILLAS BANDA Fecha:21/10/2014			
SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)
33,29	13,303	5,09	23,783

Fuente: Espinoza 2014

3.2.5 Método de preparación por perlas fundidas.

Al fabricar una perla fundida del material que se va a analizar ayuda a una mayor efectividad de los resultados puesto a que al ser un cristal los equipos de rayos X actúan de una mejor manera y nos dan resultados más exactos. Se procede dela siguiente manera:

La ceniza en polvo (1 g) se funde con 6 g tetraborato de litio para destruir su composición de partículas y mineralógica, a 1200ºC durante 11 minutos en una mufla.

El fundido resultante se cristaliza en forma de perla de vidrio que posteriormente se introduce en el espectrómetro de FRX. En la perla se miden las intensidades de fluorescencia de los rayos x de los elementos requeridos y se analiza la composición química de las cenizas en relación a unas gráficas o ecuaciones de calibrado determinadas previamente y aplicando correcciones para los efectos interelementales. Las ecuaciones de calibrado y las correcciones interelementales se establecen a partir de perlas elaboradas con materiales de referencia certificados.

3.2.6 Ensayos por el método complexométrico.

La manera más antigua y usada hasta la fecha para determinar la composición química de un elemento y en la que se basa cualquier método actual es el análisis complexométrico, en el cual se toma determinada cantidad de muestra y por medio de un procedimiento analítico se logra determinar la composición de la muestra.

Este método analítico va a depender de los componentes que se quiere determinar de tal manera que ningún reactivo utilizado interfiera con el compuesto a determinar. De esta manera existe un método puntual por el cual se puede identificar los componentes principales de las materias primas del cemento.

Las características que tiene que cumplir una reacción de formación de complejos para poder ser utilizada como valoración volumétrica, son las siguientes.

1. Cuando agregamos el valorante gota a gota, la reacción debe alcanzar el equilibrio químico con rapidez.
2. Que no haya interferencias, es decir, que el ion cuya concentración queremos determinar, forme únicamente el complejo que se desea y no otros.
3. Que sea posible determinar la finalización de la valoración mediante el agregado de un indicador complexométrico, cuyo color varíe inmediatamente después de alcanzado el punto de equilibrio.

3.2.6.1 Objeto y aplicaciones.

En muchas ocasiones este método sirve de base para calibrar equipos analíticos mediante curvas de calibración por patrones o también se utiliza los datos obtenidos aquí para compararlos con los del equipo y comprobar su correcto funcionamiento. Es una pauta muy importante para entender la base fundamental en que trabaja un equipo analítico automatizado.

En el método se quiere identificar la composición elemental es decir los óxidos que más interfieren para dar las características de calidad requeridas por el cemento entre estos óxidos tenemos el Fe_2O_3, Al_2O_3, MgO y CaO; los valores obtenidos nos permiten dosificar de manera adecuada para mantener los módulos del cemento dentro de las especificaciones de la norma.

Para la determinación complexométrica de la composición química de las muestras analizadas y del cemento, la Planta Guapán, se basa en el instructivo para determinación de la composición elemental, el cual se encuentra adjunto en el **anexo 5**.

3.2.7 Pérdidas por calcinación

"La pérdida por calcinación (pérdida por ignición) del cemento portland se determina por el calentamiento de una muestra de cemento con masa conocida a una temperatura de 900°C a 1000°C o hasta 1350°C, hasta que se obtenga la constancia de masa. Se determina entonces la pérdida de masa de la muestra. Normalmente, una gran pérdida por ignición es una indicación de prehidratación y carbonatación, las cuales pueden ser resultantes del almacenamiento prolongado o de manera incorrecta, o de la adulteración durante el transporte"[8].

El ensayo de pérdida por calcinación se realiza de acuerdo al instructivo para determinación de las pérdidas por calcinación del laboratorio de calidad de la planta adjunto en el **anexo 7**

3.2.8 Análisis comparativo de resultados

Debido a que la planta Guapán de la UCEM extrae la materia prima (calizas) de diferentes canteras del país para abastecer su mercado, esto implica a que el material no tenga una composición química ni física constante por lo que esto ha representado un problema importante para la planta ya sea por el coste del transporte del material a la fábrica o por tratar de mantener el proceso dentro de

[8] Perdida por cacinación. Recuperado el 1 de febrero del 2015 de: http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/perdida-por-calcinacion-perdida-por.html#

los rangos de especificación de la norma dosificando la entrada de las materias primas.

En este punto vamos a analizar los datos obtenidos mediante cada uno de los ensayos anteriormente realizados con el propósito de compararlos y encontrar semejanzas y diferencias en el comportamiento como materias primas que van a estar en la partida del proceso de fabricación de cemento.

Humedad.- De los resultados obtenidos de humedad extraemos esta tabla la cual nos indica los rangos en los que oscila la humedad de las muestras en porcentaje:

Tabla 19. Resultados de humedad de las diferentes muestras

Humedad %		
Valor	Min	Max
Caliza Méndez	0,14	5,56
Caliza Guayaquil	0,25	12,16
Caliza Mangán	0,66	27,45
Arcilla	27,01	31,8
Mineral de Hierro	0,22	3,04

Como se puede ver con respecto a las calizas el material con mayor humedad es la caliza de Mangán debido a que tiene una composición terrosa guarda más la humedad, al contrario que las calizas de Méndez y Guayaquil que son minerales más rocosos y no detienen humedad.

En el caso de las muestras de arcillas muestran una humedad bastante alta puesto a q retienen la humedad además de que el material está al aire libre, es decir, no hay ninguna estructura como un techo que proteja al material caso contrario al mineral de hierro que se encuentra protegido por una estructura con techo que lo protege de las lluvias por esto su humedad baja.

No existe ninguna normativa para el porcentaje de humedad que deben presentar las materias primas para la fabricación de cemento Portland, pero el análisis de las muestras se dificulta con humedades elevadas por lo que previo a que la muestra sea analizada se determina su humedad eliminando el agua de la misma.

Densidad.- De los datos de densidad se extrajo la siguiente tabla:

Tabla 20. Densidades de las muestras de calizas

Densidad g/ml		
Valor	Min	Max
Méndez	2	3,2
Guayaquil	1,77	3,37
Mangán	1,25	3,12

No existe ningún valor en la Norma INEN que se requiera tomar en cuenta en el caso de la densidad de la materia prima para fabricación de cemento Portland; por los datos obtenidos podemos decir que la caliza con mayor densidad es la caliza de Guayaquil esto se debe a su gran contenido de $CaCO3$ que hace de su estructura una roca muy compacta con alto peso específico y por ende alta densidad, aunque con poco homogeneidad ya que también encontramos material poroso llegando a una densidad de 1,77 g/ml.

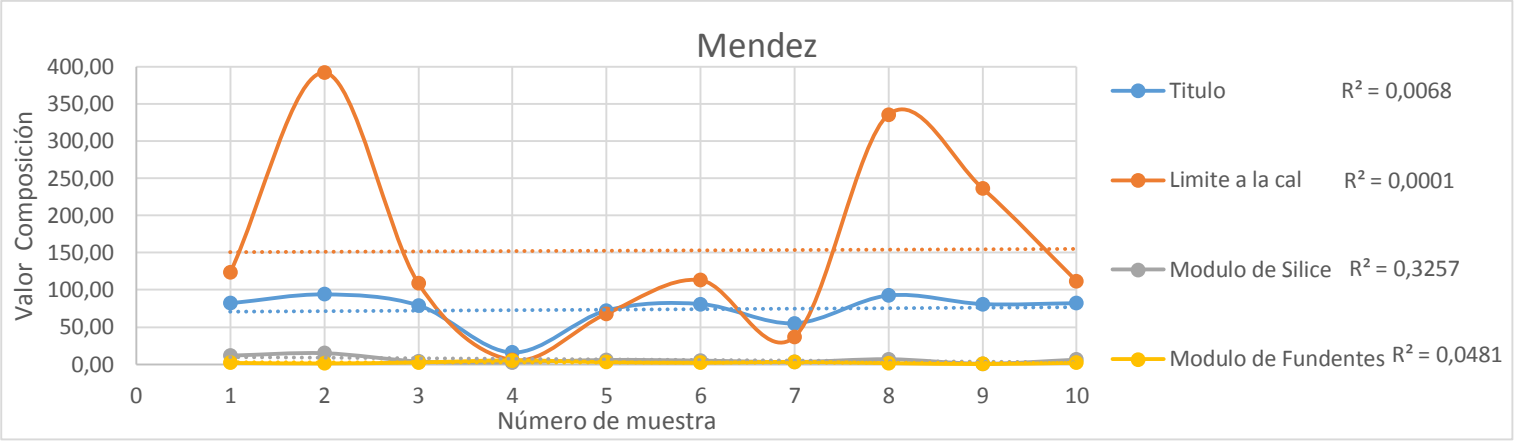
En el caso de la caliza de Méndez sus valores son más homogéneos que de las otras 2 calizas por ya que en su mayoría está compuesto por rocas compactas poco porosas.

En el caso de Mangán su densidad oscila de 1,25 g/ml a 3,12 g/ml valores de poca homogeneidad debido a que este material se presenta con estructura rocosa y también porosa, hasta se puede encontrar en estructura terrosa.

Fluorescencia de RX.- La valoración de los análisis se realiza mediante un procedimiento documentado el cual consta de un método para la validación de los resultados obtenidos de los análisis que se realizan por fluorescencia de rayos X, en base a la comparación con los resultados obtenidos por los métodos complexométrico descrito en el instructivo I.CK.7.1-07 y Guapán Quant. El cual está adjunto en el **anexo 6.**

Debido a esto podemos confiar en la trazabilidad de los resultados, además se realizó un análisis de linealidad de cada una de los datos obtenidos de las muestras mediante gráficos de dispersión en donde cada punto representa la cantidad presente del compuesto analizado en la respectiva muestra, luego se

añade una línea de tendencia y se presenta el índice de correlación con respecto a la linealidad de los resultados como R^2



Este análisis nos acerca más a la realidad de la fábrica la cual hemos dicho que se trata de materias primas con contenido químico muy disperso como se puede ver en la linealidad de los resultados, el gráfico nos muestra como las muestras de la materia prima se comportan de manera diferente con un R^2 muy bajo.

Capítulo 4

4. Análisis y modelo matemático

4.1 Objetivos

Desarrollar un modelo de dosificación de las diferentes materias primas en la etapa de molienda de crudo en base a los resultados de los análisis químicos que se realizaron a través de los métodos mencionados, con la finalidad de disponer de un soporte técnico previo a la instalación de los analizadores en línea.

Para entender el análisis que se realizó para conformar el modelo matemático primero, vamos a introducirnos más en el método que se realiza para deducir si la composición de las materias primas del cemento es la deseada para obtener un producto óptimo, es decir si cumple con los requisitos de calidad estipulados por la norma para el tipo de cemento que se pretende elaborar.

Para que un cemento obtenga las características deseadas es necesario que la materia prima para su fabricación se ajuste con algunos módulos de control químico, los cuales a lo largo del tiempo se ha determinado por experimentación y que se relacionan según: estándar de saturación a la cal (L.S.F); y de la relación entre los componentes minerales de SiO_2, Fe_2O_3 y Al_2O_3 que presente la mezcla de materia prima para formar el crudo. Tales relaciones se las denomina ÍNDICES y MÓDULOS y han ido surgiendo con el tiempo, tanto de la observación de los procesos de fabricación del clinker como del enjuiciamiento de los resultados prácticos en la utilización del mismo. Esta relación entre óxidos da como resultado la obtención de los siguientes módulos químicos de control para la preparación del crudo:

a) Módulo Hidráulico.

$$HM = \frac{CaO}{SiO2+Fe2O3+Al2O3} = 1{,}7 - 2{,}3$$

Cementos que contienen un módulo hidráulico menor a 1,7 se ha determinado que confieren resistencias mecánicas insuficientes al cemento, mientras que valores mayores a 2,3 lo vuelven de volumen inestable, aumenta el calor de hidratación y disminuye la resistencia química.

b) Módulo de silicatos.

$$MDS = \frac{SiO2}{Fe2O3+Al2O3} = 1{,}9 - 3{,}2$$

Los valores más aceptables se encuentran entre 2,2 y 2,6 pero valores mayores a 3,2 dificultan las condiciones de cocción del clinker por descenso de la fase líquida con disminución de la formación de costra lo que produce mayor deterioración del revestimiento refractario y unas mayores pérdidas de calor por radiación a través de la chapa cilíndrica del horno, además esta clase de cementos muestran tiempo de fraguado y endurecimiento lento; valores menores a 1,9 aumentan el contenido de fase líquida lo que ayuda a la cocción del clinker y la formación de costra, por lo que sí es necesidad operacional se suele bajar el módulo intencionalmente hasta este valor con el fin de formar costras rápidamente que protejan el material refractario.

c) Módulo de alúmina o de fundentes.

$$MF = \frac{Al2O3}{Fe2O3} = 1{,}5 - 2{,}5$$

Este módulo varía entre 1,5 y 2,5. Existen casos extremos de mineral con los cuales se compara con el cemento blanco, rico en alúmina y sin oxido férrico, y el cemento mineral sin alúmina y rico en oxido férrico, por lo que cementos con módulo de alúmina menores a 1,5 se denominan ferrocementos.

Valores crecientes del módulo de alúmina aumentan la viscosidad de la fase líquida lo que dificulta la cocción del crudo teniendo que elevar la temperatura y aumentar el consumo de combustible.

Si el valor es demasiado bajo y el crudo está exento de sílice libre, la adherencia y nodulización del clinker es muy alta

d) Módulo de sílice.

$$MS = \frac{SiO2}{Al2O3} = 2\text{-}3{,}5$$

El autor *Mussgnug* G. llamo módulo silícico a la relación SiO2 y Al2O3 y se ha observado que en la cocción del clinker en el horno rotatorio se obtienen buenas condiciones de formación de costra en la zona de clinkerización cuando el valor de dicha relación varía entre 2,5 y 3,5 y el módulo de alúmina esta entre 1,8 y 2,3.

e) Límite de saturación a la cal.

Se han determinado índices que nos ayudan a controlar la cantidad máxima y los problemas que conllevan en el cemento que la materia prima contenga cal en exceso pudiendo llegar a ser expansivo y formar grietas y fisuras, además tiende a producir cementos con inestabilidad en volumen y da lugar a cementos de fraguado lento y de altas resistencias iniciales

Según Kulh éste se determina con la siguiente relación:

$$LSF = \frac{CaO}{2{,}8SiO2 + 0{,}35Fe2O3 + 1{,}65Al2O3} = 0{,}9 - 1{,}02 \text{ (cemento de alta calidad)}$$

4.2 Clasificación de los resultados de los análisis.

Con esta base de conocimientos podemos comprender que para la fabricación de cemento existen módulos obtenidos por experimentación que nos ayudan a identificar mediante la composición de la materia prima, es decir, sus óxidos esenciales y su contenido de cal si la materia que va a entrar en proceso va a cumplir las especificaciones necesarias para obtener un clinker de buena calidad.

Apoyándose en esto se han determinado métodos para calcular la composición del crudo necesaria para obtener como resultado que el clinker cumpla con los módulos anteriormente mencionados, pudiendo estimar los valores que se podrán alcanzar en el proceso si se usa materia prima de composición conocida.

Para esto podemos usar como indicadores los módulos del cemento y podemos darnos como regla o requisito que la mezcla de materia prima llegue a la composición requerida para el proceso.

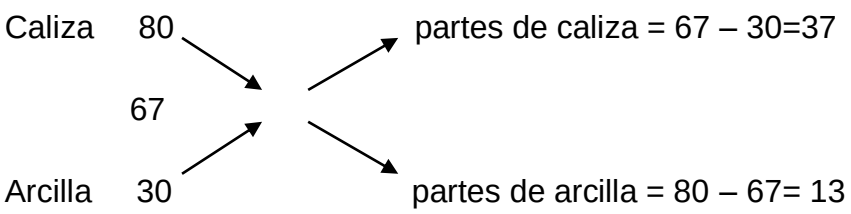
Walter. H. Duda, en su libro Manual Tecnológico del Cemento, demuestra varios métodos que sirven para determinar la cantidad de materia prima (caliza, mineral de hierro y arcilla) que debe entrar al proceso de fabricación y que esta mezcla tenga en su composición química el rango óptimo de los módulos de cemento mencionados para obtener un cemento de calidad que cumpla con los requisitos que pide la normativa.

Estos métodos usan como datos para su base de cálculo la composición química de las materias primas de la fábrica, por lo que con una buena base de datos se obtienen resultados confiables con valores reales que garantizan que el método o herramienta desarrollada nos arrojará valores certeros aptos para la función que desempeñarán.

Algunos de los métodos usados por Walter H. Duda son:

Método cruzado.- Este método es utilizado para encontrar la proporción en que se mezclan 2 materias primas para llegar a la composición fijada, éste método es el más sencillo.

Ejemplo: En la fábrica se tiene 2 materias primas la una es caliza con una composición de 80% en CaCO3 la segunda es arcilla con una composición de 30% en CaCO3. ¿Si se quiere obtener una mezcla con un contenido de 67% de CaCO3 que cantidad de cada una se debe mezclar?



Cálculo según el módulo hidráulico.- El método se puede aplicar para dos materias primas conocidas eligiendo el módulo hidráulico que se requiere alcanzar:

Para el clinker:

$$HM=\frac{CaO}{SiO2+Fe2O3+Al2O3}$$

Para el crudo:

$$HMm=\frac{CaOm}{SiO2m+Fe2O3m+Al2O3m}$$

Se igualan las ecuaciones debido a que los módulos son iguales:

$$HM=\frac{CaO}{SiO2+Fe2O3+Al2O3}=\frac{CaOm}{SiO2m+Fe2O3m+Al2O3m}$$

Para este método se debe aceptar que x partes de la primera materia prima corresponden a una parte de la segunda, por lo que usando el mismo criterio se puede calcular el contenido individual de cada materia prima así:

$$Cm=\frac{xC1+C2}{x+1} \quad (1) \qquad Fm=\frac{xF1+F2}{x+1} \quad (3)$$

$$Am=\frac{xA1+A2}{x+1} \quad (2) \qquad Sm=\frac{xS1+S2}{x+1} \quad (4)$$

Donde:

C=CaO

A=Al_2O_3

F=Fe_2O_3

S=SiO_2

Introduciendo los valores dentro de la fórmula del módulo hidráulico tenemos:

$$HM=\frac{\frac{xC1+C2}{x+1}}{\frac{xS1+S2}{x+1}+\frac{xF1+F2}{x+1}+\frac{xA1+A2}{x+1}} \qquad (5)$$

Por análisis químico se conoce la composición de los óxidos de las materias primas y ya que en un inicio se impuso el valor del módulo hidráulico, la única variable que nos ha quedado es (x).

$$x=\frac{HM(F2+A2+S2)-C2}{C1-HM(F1+A2+S2)} \qquad (6)$$

Cálculo a partir del grado de saturación por la cal.- De la misma manera éste método se usa para determinar la proporción de 2 materias primas de composición conocida que van a entrar al proceso imponiéndose el grado de saturación por la cal.

Resolviendo del mismo modo nos queda:

$$x=\frac{(2{,}8*LSF*S1+1{,}65*A1+0{,}35*F2)-C2}{C1-(2{,}8*LSF*S1+1{,}65*A1+0{,}35*F1} \qquad (7)$$

Cálculo según el módulo de saturación a la cal y el módulo de Silicatos.

En este caso como vamos a determinar por medio de 2 módulos se puede encontrar la proporción hasta de 3 materias primas que al mezclarse en el proceso cumplan con los módulos propuestos.

Para que el modelo pueda resolverse necesitamos que el sistema de ecuaciones sea de 2 ecuaciones con 2 incógnitas por lo que se acepta que por cada (x) partes del componente 1 existen (y) partes del componente 2 y 1 parte del componente 3.

Por lo que los componentes del crudo se pueden calcular de la siguiente manera:

$$Cm=\frac{xC1+yC2+1}{x+y+1} \qquad (8)$$

$$Fm=\frac{xF1+yF2+1}{x+y+1} \qquad (10)$$

$$Am=\frac{xA1+yA2+1}{x+y+1} \qquad (9)$$

$$Sm=\frac{xS1+yS2+1}{x+y+1} \qquad (11)$$

Reemplazando el valor de lo componentes en la fórmula de los correspondientes módulos obtenemos:

Para el módulo de saturación a la cal:

$$x[(2{,}8 * LSF * S1 + 1{,}65 * A1 + 0{,}35 * F1) - C1] + y[(2{,}8 * LSF * S2 + 1{,}65 * A2 + 0{,}35 * F2) - C2] = C3 - (2{,}8 * LSF * S3 + 1{,}65 * A3 + 0{,}35 * F3 \quad (12)$$

Para el módulo de silicatos:

$$x[MS(A1 + F1) - S1] + y[MS(A2 + F2) - S2] = S3 - MS(A3 + F3) \quad (13)$$

En donde cada una de las incógnitas sería:

a1= $x[(2{,}8 * LSF * S1 + 1{,}65 * A1 + 0{,}35 * F1) - C1]$

b1= $y[(2{,}8 * LSF * S2 + 1{,}65 * A2 + 0{,}35 * F2) - C2]$

c1= $C3 - (2{,}8 * LSF * S3 + 1{,}65 * A3 + 0{,}35 * F3$

a2= $x[MS(A1 + F1) - S1]$

b2= $y[MS(A2 + F2) - S2]$

c2= $S3 - MS(A3 + F3)$

Las ecuaciones anteriores toman la siguiente forma:

a1*x +b1*y= c1

a2*x+b1*y= c2

Resolvemos y hallamos los valores de x e y.

$$x = \frac{(c1b2 - c2b1)}{(a1b2 - a2b1)} \quad (14)$$

$$y = \frac{(a1c2 - a2c1)}{(a1b2 - a2b1)} \quad (15)$$

Hallamos los valores de las incógnitas antes nombradas e introducimos en las ecuaciones anteriores y encontramos los valores de x e y que serían las proporciones con las cuales debe entrar la mezcla al proceso.

4.3 Procesamiento de resultados de los análisis

Éste último método (cálculo según el módulo de saturación a la cal y módulo de silicatos), desde el punto de vista matemático nos permite encontrar una solución para el caso en que existan 3 materias primas que entrarían al proceso con el uso de 2 módulos, y comparándolo con el anterior (cálculo según el módulo de saturación a la cal) que nos permite obtener el resultado para 2 materias primas de mezcla con el uso de 1 módulo, nos ayuda a deducir que el número de materias primas que decidamos analizar por éste método debe tener n-1 módulos para que el sistema de ecuaciones se cumpla; es decir para un proceso cuaternario, como el que se da casi siempre en la planta Guapán, donde existen 4 materias primas para la mezcla se necesitaría estimar 3 módulos de cemento en un inicio y así tendríamos un sistema que se puede resolver de 3 ecuaciones con 3 incógnitas.

De ésta manera se prosiguió a desarrollar el método para 4 materias primas componentes del crudo, fijando previamente como módulos de cemento valores para: módulo de saturación a la cal de 0,96; módulo de silicatos 2,8 y un módulo de alúmina de 1,8.

Para esto aceptaremos que las materias primas que entran al proceso se comportan de la siguiente manera: componente 1: componente 2: componente 3: componente 4= x=y=z=1; en donde:

Componente 1= mezcla de calizas (Guayaquil, Méndez, Mangán).

Componente 2= caliza de Guayaquil.

Componente 3= arcilla.

Componente 4= mineral de hierro.

Es decir, damos por aceptado que, por cada x partes de la mezcla de calizas entran (y) partes de caliza de Guayaquil, (z) partes de arcilla y 1 parte de mineral de hierro.

Calculando el componente del crudo:

Cm= $\frac{xC1+yC2+zC3+1}{x+y+z+1}$ (16)

Fm= $\frac{xF1+yF2+zF3+1}{x+y+z+1}$ (18)

Am= $\frac{xA1+yA2+zA3+1}{x+y+z+1}$ (17)

Sm= $\frac{xS1+yS2+zS3+1}{x+y+z+1}$ (19)

Reemplazando los respectivos componentes del crudo a los módulos tenemos:

Para el módulo de saturación a la cal:

$$x[(2{,}8 * LSF * S1 + 1{,}65 * A1 + 0{,}35 * F1) - C1] + y[(2{,}8 * LSF * S2 + 1{,}65 * A2 + 0{,}35 * F2) - C2] + z[(2{,}8 * LSF * S3 + 1{,}65 * A3 + 0{,}35 * F3) - C3] = C4 - (2{,}8 * LSF * S4 + 1{,}65 * A4 + 0{,}35 * F4) \quad (20)$$

Para el módulo de silicatos:

$$x[MS(A1 + F1) - S1] + y[MS(A2 + F2) - S2] + z[MS(A3 + F3) - S3] = S4 - MS(A4 - F4) \quad (21)$$

Para el módulo de alúmina:

$$x[(MF * F1) - A1] + y[MF * F2) - A2] + z[MF * F3) - A3] = A4 - (MF * F4) \quad (22)$$

Las 3 ecuaciones obtenidas tomaran la forma de:

$$a1x + b1y + c1z = d1$$

$$a2x + b2y + c2z = d2$$

$$a3x + b3y + c3z = d3$$

En donde cada una de las constantes se obtendrá de las ecuaciones de los módulos:

a1= $x[(2{,}8 * LSF * S1 + 1{,}65 * A1 + 0{,}35 * F1) - C1]$

b1= $y[(2{,}8 * LSF * S2 + 1{,}65 * A2 + 0{,}35 * F2) - C2]$

c1= $z[(2{,}8 * LSF * S3 + 1{,}65 * A3 + 0{,}35 * F3) - C3]$

d1= $C4 - (2{,}8 * LSF * S4 + 1{,}65 * A4 + 0{,}35 * F4)$

a2= $x[MS(A1 + F1) - S1]$

b2= $y[MS(A2 + F2) - S2]$

c2= $z[MS(A3 + F3) \ - S3]$

d2= $S4 - MS(A4 - F4)$

a3= $x[(MF * F1) - A1]$

b3= $y[MF * F2) - A2]$

c3= $z[MF * F3) \ - A3]$

d3= $A4 - (MF * F4)$

De los resultados del análisis de rayos X de las tablas 10, 11 y 12 del 3er capítulo se obtiene la composición de los óxidos esenciales C=CaCO3; A=Al2O3; S=SiO2 y F=Fe2O3 los cuales introducimos en las ecuaciones para hallar los valores de las constantes anteriores:

a1= $x[(2{,}8 * 0{,}96 * 11{,}7 + 1{,}65 * 1{,}4 + 0{,}35 * 0{,}7) - 46{,}1] = -12{,}148$x

b1= $y[(2{,}8 * 0{,}96 * 6{,}9 + 1{,}65 * 0{,}5 + 0{,}35 * 0{,}2) - 50{,}7] = -31{,}333y$

c1= $z[(2{,}8 * 0{,}96 * 43{,}3 + 1{,}65 * 27{,}4 + 0{,}35 * 11{,}5) - 0{,}5] = 165{,}218z$

d1= $5{,}4 - (2{,}8 * 0{,}96 * 27{,}3 + 1{,}65 * 6{,}2 + 0{,}35 * 43{,}4) = -93{,}267$

a2= $x[2{,}3(1{,}4 + 0{,}7) - 11{,}7] = -6{,}843x$

b2= $y[2{,}3(0{,}5 + 0{,}2) - 6{,}9] = -5{,}273y$

c2= $z[2{,}3(27{,}4 + 11{,}5) \ - 43{,}3] = 46{,}218z$

d2= $27{,}3 - 2{,}3(6{,}2 - 43{,}4) = -86{,}687$

a3= $x[(1{,}8 * 0{,}7) - 1{,}4] = -0{,}019x$

b3= $y[1{,}8 * 0{,}2) - 0{,}5] = -0{,}041y$

c3= $z[1{,}8 * 11{,}5) \ - 27{,}4] = -6{,}666z$

d3= $6{,}2 - (1{,}8 * 43{,}4) = -71{,}911$

Se resuelven las ecuaciones según x, y, z y una vez despejadas se obtiene:

Partes de mezcla de calizas

$$x = \frac{d1(b2c3-b3c2)-d2(b1c3-b3c1)+d3(b1c2-b2c1)}{a1(b2c3-b3c2)-a2(b1c3-b3c1+a3(b1c2-b2c1)} \qquad (23)$$

$$x = \{(-93{,}267)[(-5{,}273 * -6{,}666) - ((-0{,}041) * 46{,}218))] - (-86{,}687)[(-31{,}333 * -6{,}666) - ((-0{,}041) * 165{,}218))] + (-71{,}911)[(-31{,}333 * 46{,}218) - ((-5{,}273) * 165{,}218))]\}/\{(-12{,}148)[(-5{,}273 * -6{,}666) - ((-0{,}041) * 46{,}218))] - (-6{,}843)[(-31{,}333 * -6{,}666) - ((-0{,}041) * 165{,}218))] + (-0{,}019)[(-31{,}333 * 46{,}218) - ((-5{,}273) * 165{,}218))]\}$$

$$x = 0{,}532$$

Partes de Caliza de Guayaquil

$$y = \frac{a1(d2c3-d3c2)-a2(d1c3-d3c1)+a3(d1c2-d2c1)}{a1(b2c3-b3c2)-a2(b1c3-b3c1+a3(b1c2-b2c1)} \qquad (24)$$

$$y = \{(-12{,}148)[(-86{,}687 * -6{,}666) - ((-71{,}911) * 46{,}218))] - (-6{,}843)[(-93{,}267 * -6{,}666) - ((-71{,}911) * 165{,}218))] + (-0{,}019)[(-93{,}267 * 46{,}218) - ((-86{,}687) * 165{,}218))]\}/\{(-12{,}148)[(-5{,}273 * -6{,}666) - ((-0{,}041) * 46{,}218))] - (-6{,}843)[(-31{,}333 * -6{,}666) - ((-0{,}041) * 165{,}218))] + (-0{,}019)[(-31{,}333 * 46{,}218) - ((-5{,}273) * 165{,}218))]\}$$

$$y = 0{,}357$$

Partes de Arcilla

$$z = \frac{a1(b2d3-b3d2)-a2(b1d3-b3d1)+a3(b1d2-b2d1)}{a1(b2c3-b3c2)-a2(b1c3-b3c1)+a3(b1c2-b2c1)} \qquad (25)$$

$$z = \{(-12{,}148)[(-5{,}273 * -71{,}911) - ((-0{,}041) * -86{,}687))] - (6{,}843)[(-31{,}333 * -71{,}911) - ((-0{,}041) * -93{,}267))] + (-0{,}019)[(-31{,}333 * -86{,}687) - ((-5{,}273) * -93{,}267))]\}/\{(-12{,}148)[(-5{,}273 * -6{,}666) - ((-0{,}041) * 46{,}218))] - (-6{,}843)[(-31{,}333 * -6{,}666) - ((-0{,}041) * 165{,}218))] + (-0{,}019)[(-31{,}333 * 46{,}218) - ((-5{,}273) * 165{,}218))]\}$$

$z = 0{,}101$

Partes mineral de Hierro

w=0,01

4.4 Conformación del modelo para diseños de mezclas de cuatro componentes.

Debido a que el crudo que con mayor frecuencia se prepara en la molienda de la Planta de Guapán es de tipo cuaternario utilizando materias primas formadas por calizas, margas calizas, arcillas margosas y mineral de hierro se pudo analizar que el método de cálculo por 4 componentes es el que se acerca más a la realidad de la fábrica y por esto la herramienta se basa en éste método de cálculo.

Se prosiguió a realizar un programa del modelo en Excel el cual nos permitirá realizar los cálculos de una manera más ágil, además, nos permite cambiar los valores de los módulos requeridos según se necesite e inmediatamente el programa calculará cuál debe ser la mezcla que debe ingresar al proceso para alcanzar los valores previamente asignados de los módulos de cemento. Cabe aclarar que el cálculo de los componentes del programa se realiza tomando la base de datos de los análisis obtenidos lo que nos da fiabilidad en el cálculo, el programa también puede tomar bases de datos nuevas para realizar el cálculo; esto amplía el uso que se le pueda dar al modelo ya que solamente con una actualización de ésta base de datos el programa podrá realizar su función.

El método que plantea Walter H. Duda es muy eficaz, solamente que al momento de resolver las ecuaciones nos encontramos con una gran cantidad de datos con

los cuales se puede cometer errores al momento de resolver las ecuaciones. Luego se comprobó por análisis que el sistema de ecuaciones podría ser resuelto de una manera más rápida mediante el método matricial para resolución de ecuaciones el cual detallamos a continuación:

En primera instancia podemos crear una matriz de 3x3 con las constantes de las ecuaciones a la cual le llamaremos la matriz (A) sin tomar en cuenta los términos independientes de las mismas; luego se procede a encontrar la matriz inversa de A, es decir, A^{-1} mediante el método de Gauss - Jordan como se explica en los siguientes pasos:

Consideremos el siguiente sistema de ecuaciones:

x + y + z= 2

2x – y - 2z = 7

-3x + 2y - 2z= -9

Construimos dos matrices (26) y (27), la primera con las constantes de la ecuación y la segunda con los términos independientes.

Constantes de la ecuación:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -2 \\ -3 & 2 & -2 \end{bmatrix} \qquad (26)$$

Términos independientes:

$$\begin{bmatrix} 2 \\ 7 \\ -9 \end{bmatrix} \qquad (27)$$

1) Por el momento solo tomamos en cuenta la matriz 3x3 (26). Construimos una matriz del tipo *M = (A | I)*, es decir, *A* está en la mitad izquierda de *M* y la matriz identidad *I* en la derecha.

La ampliamos con la matriz identidad de orden 3.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -2 \\ -3 & 2 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2) Utilizando el método Gauss vamos a transformar la mitad izquierda, *A*, en la matriz identidad, que ahora está a la derecha, y la matriz que resulte en el lado derecho será la matriz inversa: A^{-1}.

$F_2 = -2F_1 + F_2$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & -3 & -2 \\ -3 & 2 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$F_3 = F_3 + 3F_1$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & -3 & 0 \\ 0 & 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -2 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$F_2 = -1/3F_2$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 2/3 & -1/3 & 0 \\ 3 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$F_1 = -F_2 + F_1$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 0 \\ 2/3 & -1/3 & 0 \\ 3 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$F_3 = -5F_2+F_3$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 0 \\ 2/3 & -1/3 & 0 \\ -1/3 & 12/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$F_1= -F_3+F_1$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2/3 & -11/3 & -1 \\ 2/3 & -1/3 & 0 \\ -1/3 & 12/3 & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz inversa es:

$$\begin{bmatrix} 2/3 & -11/3 & -1 \\ 2/3 & -1/3 & 0 \\ -1/3 & 12/3 & 1 \end{bmatrix} \qquad (28)$$

Luego de encontrar la matriz inversa, se realiza una multiplicación de matrices, en donde se multiplica la matriz inversa A^{-1} (28) por la matriz de los términos independientes (27), la respuesta a esta operación nos dará el resultado al sistema de ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} 2/3 & -11/3 & -1 \\ 2/3 & -1/3 & 0 \\ -1/3 & 12/3 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 2 \\ 7 \\ -9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 2 \end{bmatrix}$$

Donde:

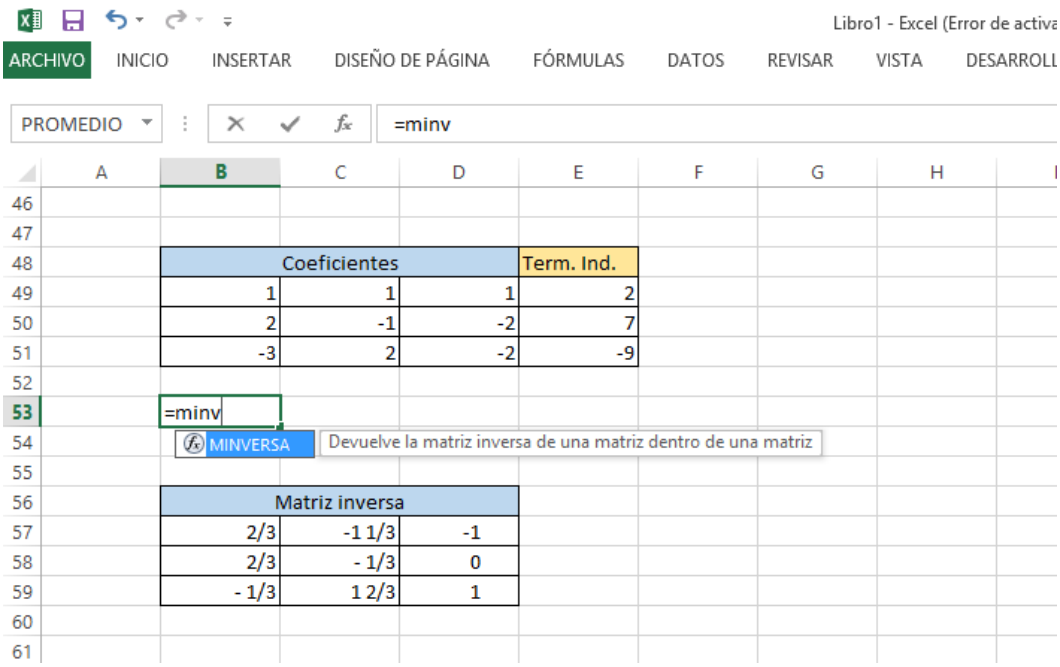
x=1

y= -1

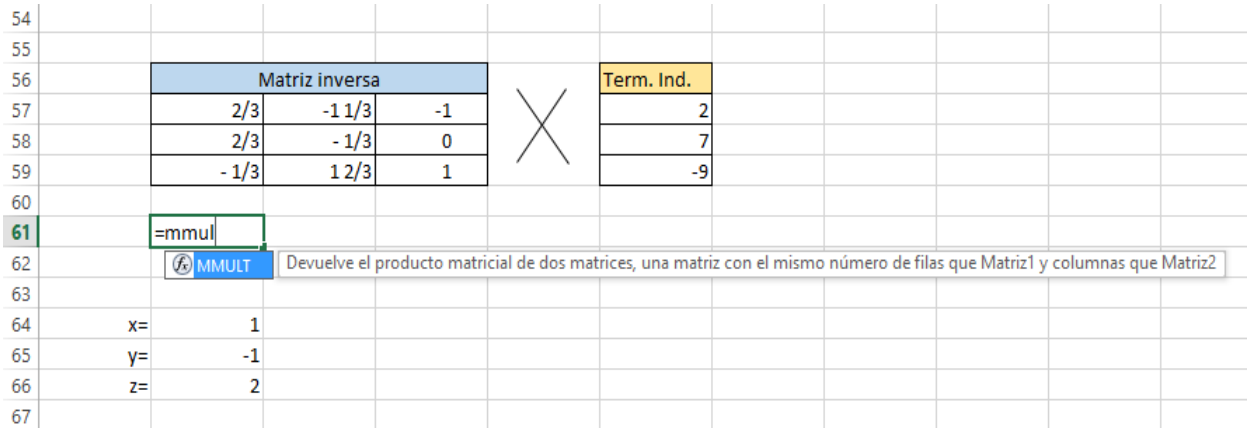
z=2

Este proceso es un poco largo si se lo hace a mano pero gracias a la ayuda de la herramienta Excel se puede simplificar mucho el trabajo ya que solo con el uso de 2 funciones de Excel aplicadas en las matrices podemos encontrar la solución al sistema de ecuaciones.

La primera función es =minversa la cual devuelve la matriz inversa de una matriz.



Por último multiplicamos por los términos independientes con ayuda de la función =mmult:



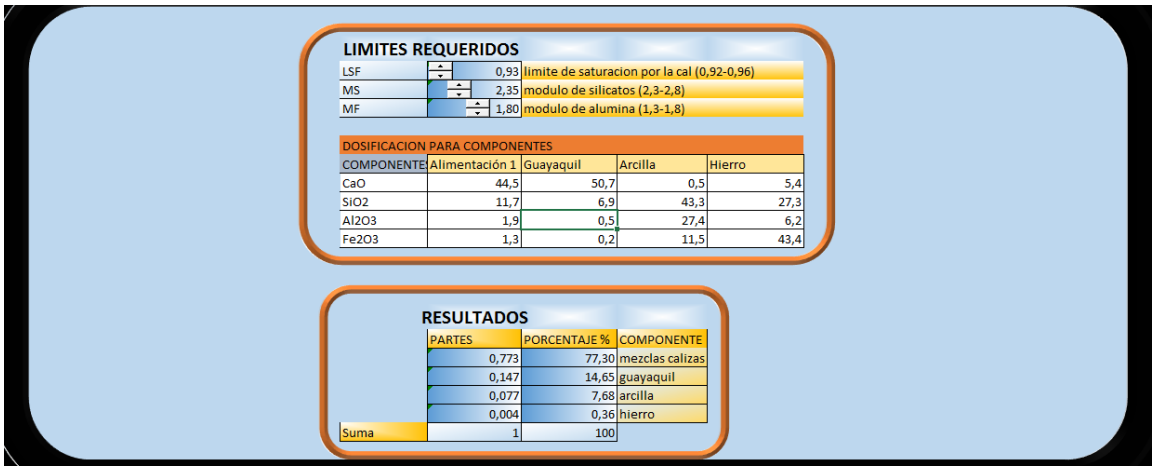
De esta manera comprobamos la eficacia del método matricial ya que de cualquiera de las 2 formas ya sea a mano o por la herramienta Excel llegamos a la misma respuesta la cual satisface el sistema.

4.5 Funcionamiento de la herramienta:

El Programa realizado en Excel consta de 5 hojas de cálculo en donde:

1) La primera hoja lleva por nombre REAL-ALIMENTACIÓN 1 esto es porque aquí los valores de la mezcla de la caliza que se encuentran en la columna de alimentación 1 provienen del análisis del 1er grupo de muestras que ya están

previamente mezcladas y en la banda del proceso, por lo que nos dieron el resultado real de la composición de la mezcla que en ese momento estaba entrando al proceso, las otras 3 columnas corresponden a los análisis hechos en las muestras de caliza de Guayaquil, arcilla y mineral de hierro de la cantera de la fábrica. En ésta hoja de cálculo disponemos de 2 recuadros el superior donde tenemos 3 botones para ingresar el valor de los módulos del cemento que se decide obtener de la mezcla de crudo y el inferior donde nos revela los resultados en partes y en porcentajes de la mezcla de materia que se necesita para alcanzar estos módulos.



LIMITES REQUERIDOS

LSF	0,93	limite de saturacion por la cal (0,92-0,96)
MS	2,35	modulo de silicatos (2,3-2,8)
MF	1,80	modulo de alumina (1,3-1,8)

DOSIFICACION PARA COMPONENTES

COMPONENTE	Alimentación 1	Guayaquil	Arcilla	Hierro
CaO	44,5	50,7	0,5	5,4
SiO2	11,7	6,9	43,3	27,3
Al2O3	1,9	0,5	27,4	6,2
Fe2O3	1,3	0,2	11,5	43,4

RESULTADOS

	PARTES	PORCENTAJE %	COMPONENTE
	0,773	77,30	mezclas calizas
	0,147	14,65	guayaquil
	0,077	7,68	arcilla
	0,004	0,36	hierro
Suma	1	100	

2) La segunda hoja de cálculo lleva por nombre TEÓRICO-REAL

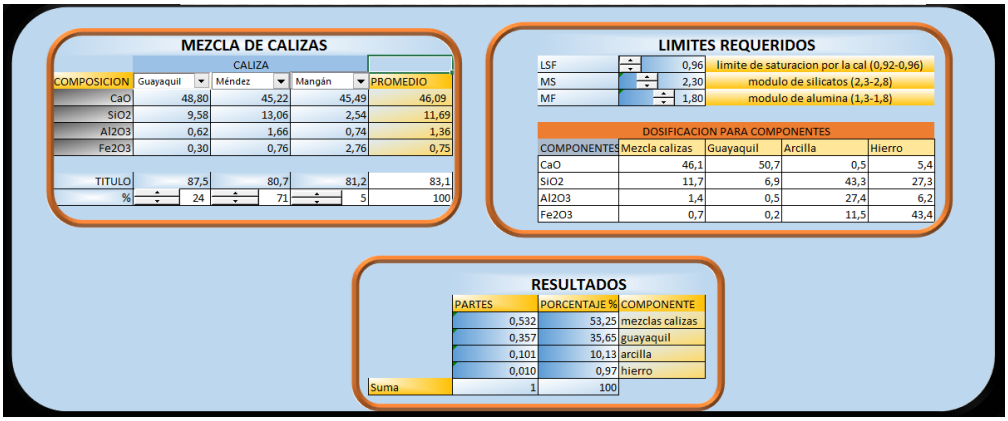
La hoja consta de 3 recuadros los cuales son:

Mezcla de calizas.- Aquí se introduce las calizas que van a entrar al proceso, éstas muestras nos reflejan los resultados de las calizas de la cantera de la planta. Consta de 3 barras desplegables en donde se puede escoger el lugar de donde proviene la caliza, además existe la opción de realizar el cálculo con una, dos o tres calizas de mezcla y tener opción a insertar el porcentaje de éstas calizas que se quiere que entre al proceso. En la columna de promedio se obtiene la media correspondiente a las calizas que se escogieron anteriormente.

Límites requeridos.- El valor promedio anteriormente obtenido se encuentra vinculadas con las celdas que llevan por título mezclas de calizas en el segundo recuadro. Dentro de los límites requeridos se va a introducir el valor de los módulos de cemento que se desea obtener con la dosificación de 4

componentes, esto está provisto de botones para subir o bajar el rango requerido. Dentro de la dosificación para componentes también se tienen 3 columnas más como son Guayaquil, Arcilla y mineral de hierro con los datos del análisis de las muestras de los halls de la planta, los cuales también están vinculados a las bases de datos respectivas.

Resultados.- El 3er recuadro consta de 3 columnas. a) Partes nos da el resultado de resolver el sistema de ecuaciones. b) Porcentaje nos da el mismo valor pero en porcentajes. c) Componentes: los valores obtenidos son en orden los porcentajes correspondientes a mezcla de calizas, caliza de Guayaquil, arcilla y mineral de hierro



MEZCLA DE CALIZAS

	CALIZA			
COMPOSICION	Guayaquil	Méndez	Mangán	PROMEDIO
CaO	48,80	45,22	45,49	46,09
SiO2	9,58	13,06	2,54	11,69
Al2O3	0,62	1,66	0,74	1,36
Fe2O3	0,30	0,76	2,76	0,75
TITULO	87,5	80,7	81,2	83,1
%	24	71	5	100

LIMITES REQUERIDOS

LSF	0,96	limite de saturacion por la cal (0,92-0,96)
MS	2,30	modulo de silicatos (2,3-2,8)
MF	1,80	modulo de alumina (1,3-1,8)

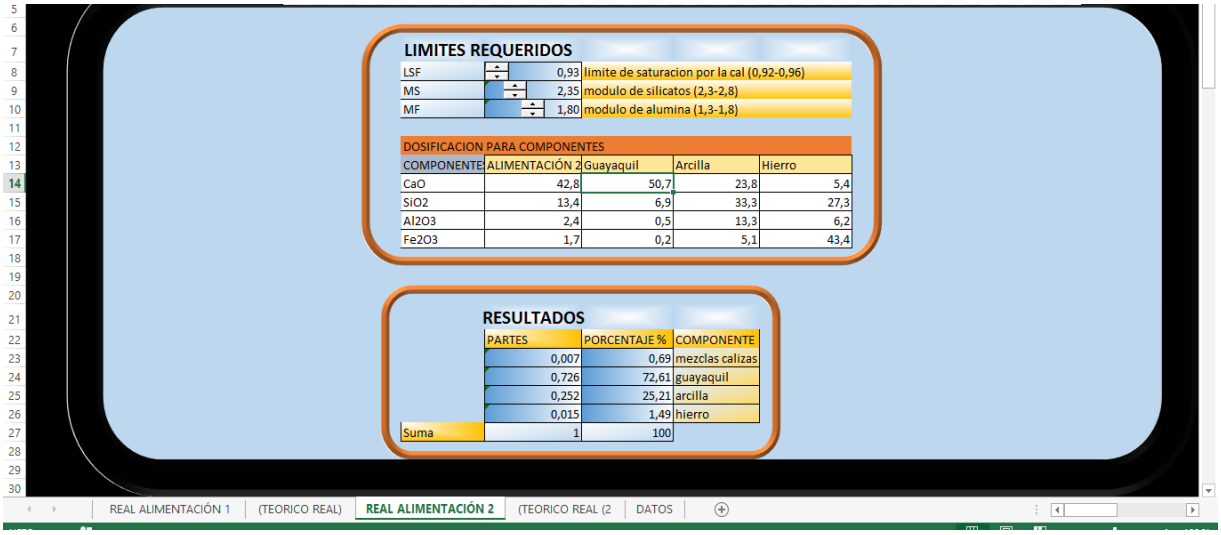
DOSIFICACION PARA COMPONENTES

COMPONENTES	Mezcla calizas	Guayaquil	Arcilla	Hierro
CaO	46,1	50,7	0,5	5,4
SiO2	11,7	6,9	43,3	27,3
Al2O3	1,4	0,5	27,4	6,2
Fe2O3	0,7	0,2	11,5	43,4

RESULTADOS

	PARTES	PORCENTAJE %	COMPONENTE
	0,532	53,25	mezclas calizas
	0,357	35,65	guayaquil
	0,101	10,13	arcilla
	0,010	0,97	hierro
Suma	1	100	

3) La 3era hoja de cálculo lleva por nombre REAL- ALIMENTACIÓN 2 se diferencia de la hoja de cálculo 1 (REAL – ALIMENTACIÓN 1) por que los datos que ingresan a la columna de alimentación 2 provienen de un segundo grupo de muestras realizado en el mismo lugar pero en otra hora y además los datos en la columna de arcilla provienen de la banda de la arcilla que se encuentra ya en el proceso no de la cantera como en el anterior caso; esto se hizo con el afán de poder comparar los resultados de estos 2 tipos de arcillas que llevan composición diferente ya que la arcilla que se encuentra en la banda del proceso está mezclada con caliza de Guayaquil que es usada como material correctivo.



LIMITES REQUERIDOS

LSF	0,93	limite de saturacion por la cal (0,92-0,96)
MS	2,35	modulo de silicatos (2,3-2,8)
MF	1,80	modulo de alumina (1,3-1,8)

DOSIFICACION PARA COMPONENTES

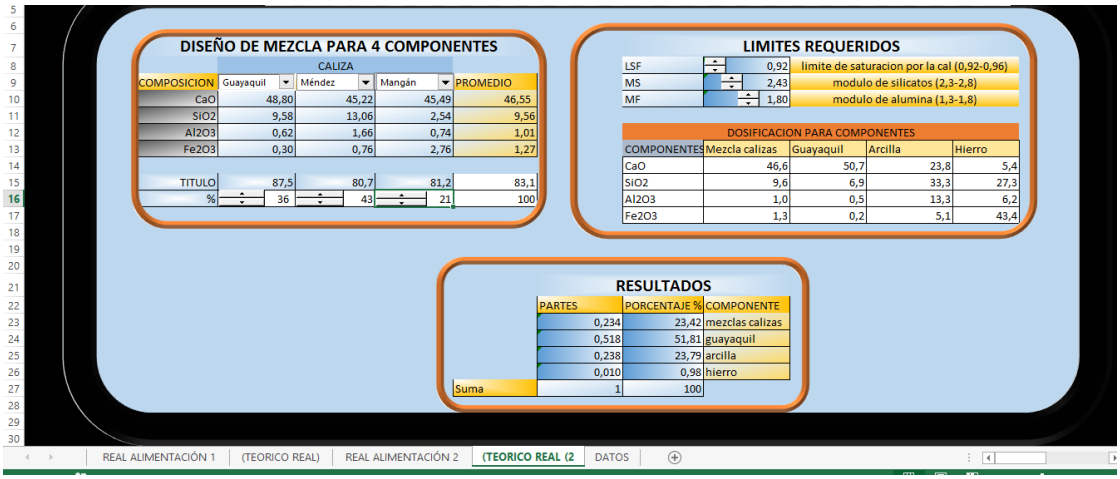
COMPONENTE	ALIMENTACIÓN 2	Guayaquil	Arcilla	Hierro
CaO	42,8	50,7	23,8	5,4
SiO2	13,4	6,9	33,3	27,3
Al2O3	2,4	0,5	13,3	6,2
Fe2O3	1,7	0,2	5,1	43,4

RESULTADOS

	PARTES	PORCENTAJE %	COMPONENTE
	0,007	0,69	mezclas calizas
	0,726	72,61	guayaquil
	0,252	25,21	arcilla
	0,015	1,49	hierro
Suma	1	100	

REAL ALIMENTACIÓN 1 | (TEORICO REAL) | REAL ALIMENTACIÓN 2 | (TEORICO REAL (2 | DATOS

4) la 4ta hoja de cálculo se denomina TEORICO REAL 2 se diferencia del TEÓRICO REAL 1 solamente en igual forma que los otros 2 los datos de composición de las arcillas son provenientes de las muestras de arcillas realizadas en la banda del proceso, es decir estas arcillas contienen material correctivo mezclado.



DISEÑO DE MEZCLA PARA 4 COMPONENTES

	CALIZA			
COMPOSICION	Guayaquil	Méndez	Mangán	PROMEDIO
CaO	48,80	45,22	45,49	46,55
SiO2	9,58	13,06	2,54	9,56
Al2O3	0,62	1,66	0,74	1,01
Fe2O3	0,30	0,76	2,76	1,27
TITULO	87,5	80,7	81,2	83,1
%	36	43	21	100

LIMITES REQUERIDOS

LSF	0,92	limite de saturacion por la cal (0,92-0,96)
MS	2,43	modulo de silicatos (2,3-2,8)
MF	1,80	modulo de alumina (1,3-1,8)

DOSIFICACION PARA COMPONENTES

COMPONENTES	Mezcla calizas	Guayaquil	Arcilla	Hierro
CaO	46,6	50,7	23,8	5,4
SiO2	9,6	6,9	33,3	27,3
Al2O3	1,0	0,5	13,3	6,2
Fe2O3	1,3	0,2	5,1	43,4

RESULTADOS

	PARTES	PORCENTAJE %	COMPONENTE
	0,234	23,42	mezclas calizas
	0,518	51,81	guayaquil
	0,238	23,79	arcilla
	0,010	0,98	hierro
Suma	1	100	

REAL ALIMENTACIÓN 1 | (TEORICO REAL) | REAL ALIMENTACIÓN 2 | (TEORICO REAL (2 | DATOS

5) La 5ta hoja de cálculo contiene la base de datos con todos los datos provenientes del análisis de las muestras por fluorescencia de rayos X, de ésta misma hoja se extraen los valores de composición química para realizar los caculos del modelo.

Capítulo 5

5. Analizadores químicos en línea

"Los analizadores en línea son aparatos automáticos diseñados para realizar medidas continuas o periódicas, de uno o más, parámetros físicos o químicos en los procesos industriales en línea, permitiendo correcciones en las condiciones de operación del proceso, basándose en los resultados en las medidas realizadas"[9]

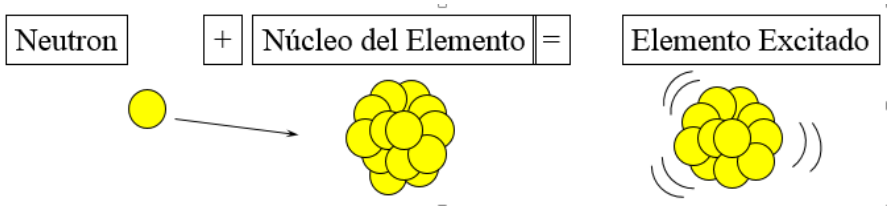
El equipo analizador en línea que se instaló en la planta fue comprado a la fábrica SCANTECH y lleva el nombre de GEOSCAN el cual tiene como actividad proveer soluciones para control de procesos y monitoreo de análisis cualitativo y cuantitativo para sólidos a granel sobre cintas transportadoras sin extracción de muestras.

Es un analizador elemental el cual usa como técnica de medición el análisis de rayos gamma inducidos.

5.1 "Funcionamiento:

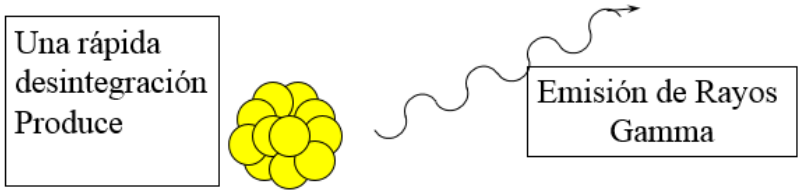
1) El GEOSCAN está provisto de una fuente radioactiva (Californio) la cual emite neutrones.

2) Los neutrones son absorbidos por los núcleos de los elementos que componen el material que se encuentra sobre la cinta transportadora.



3) Cada elemento excitado emite diferentes tipos de rayos Gamma de acuerdo al tipo de elemento. Siendo el material radioactivo Californio.

[9] Métodos automáticos y analizadores de procesos. Recuperado el 8 de febrero de 2015 de: https://www.google.com/search?q=anaizadores+universidad+de+castilla+la+mancha&ie=utf-8&oe=utf-8#q=analizadores+en+linea+ppt+universidad+de+castilla&start=0



4) El espectro completo de rayos Gamma es analizado para determinar la composición de todo el material.

Los principales elementos medidos son: Si, Fe, Ca, Al, Mg y en menor grado: K, Na, S y Cl.

Calcula los diferentes parámetros tales como LSF (límite de saturación a la cal), SR(módulo de silicatos), A/F (módulo de alúmina), componentes mineralógicos como C3S, C2S, C3A, C2F, Índice de Sulfatos, Índice de combustibilidad etc.

5.2 Características

Dentro de las características más importantes del analizador en línea GEOSCAN tenemos:

- Análisis en línea en tiempo real.
- Análisis de todo el material sobre la cinta transportadora.
- Evita errores y reduce costos de muestreo.
- El análisis es independiente del tamaño granulométrico del material.
- Ideal para la optimización, manejo del stock pile y dosificación del crudo.
- Produce resultados suficientemente precisos y exactos para controlar la línea de proceso.
- Produce resultados rápidos que permiten correcciones en de la línea de proceso.
- Es fácil de manipular por personal no especializado.
- No necesita mantenimiento durante largos períodos.
- El mantenimiento se puede llevar a cabo sin interrumpir la línea de proceso.

El equipo GEOSCAN UCG1400 consta de un diseño electrónico digital donde los picos espectrales son alineados correctamente, además de estar provisto de una interface USB compacta y ajustable manualmente. Dejando atrás las características de su antiguo modelo el G1200."[10]

5.3 Objetivos de la instalación

El equipo analizador en línea GEOSCAN será de gran ayuda para el control de la calidad del crudo que entrará al proceso a continuación citamos algunas de las ventajas que adoptará el proceso de la planta al incorporar el equipo:

"Control y optimización de la formación de stockpile. Asistencia para la pre-homogenización.

Analiza el material proveniente de la cantera y asiste en la formación de la escombrera ayudando a seleccionar la composición deseada.

Control de calidad del crudo

Analiza la materia prima del proceso y permite determinar la "receta" optima del crudo, es decir, la dosificación adecuada de la materia prima para ser introducida en el proceso.

Provee datos sobre los elementos químicos del stockpile.

Para un mejor control del proceso es indispensable tener una base de datos la cual nos muestre el comportamiento de la materia prima en base a su composición química.

Calidad del crudo consistente debido a la optimización permanente de la mezcla.

Se reduce la variabilidad de la composición del crudo mediante una dosificación adecuada y precisa.

[10] Spectrum GEOSCAN, información del equipo para la planta.

Incrementa la vida útil del revestimiento del horno.

Debido a contar con crudo que cumpla con los parámetros y módulos para producir cemento de calidad esto va a mejorar el comportamiento del material frente al proceso y por ende se reduciría el consumo de energía.

Calibración dinámica.

Durante el proceso normal de operación se toman muestras del material y se analizan en el laboratorio de la planta, se utilizan los resultados para corregir cualquier diferencia entre el GEOSCAN y el laboratorio."[11]

5.4 Especificaciones:

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones de funcionamiento del GEOSCAN:

ESTRUCTURA COMPACTA Y LIVIANA	•Marco compacto. Solo 1 metro a lo largo de la correa. 2,000 Kg. mas 1,100 Kg. de paneles de protección.
CONTACTO INEXISTENTE CON LA CORREA	•30mm distancia entre el túnel y la cara inferior de la correa •Suprime la necesidad de utilizar deslizadores. No existen piezas desgastables. •No existe necesidad de adaptar el túnel al tamaño de la correa.
CONFIGURACION DE MULTI - DETECTORES	•Funcionamiento ininterrumpido del GEOSCAN con un detector fuera de servicio •No existe necesidad de detectores como pieza de repuesto •Recalibracion innecesaria en el momento del reemplazo
ANALIZADOR DMCA DIGITAL MULTI CANAL	•Mejor linealidad •Mejor resolución espectral •Electrónica simplificada
DETECTORES DE ALTO RENDIMIENTO	•Tipo BGO – Cristal de mayor densidad Mejor señal al ratio de interferencia y mayor linealidad
MUESTRAS DE REFERENCIA COLOCADAS EN PRACTICAS BOLSAS PLASTICAS	•Anula la necesidad de utilización de monorriel y grúa reduciendo los tiempos de instalación.

[11] Scantech, GEOSCAN, información del equipo para la planta.

5.5 Uso en las plantas de cemento

El uso de analizadores en línea en las pantas de cemento cada vez se hace más relevante, empresas cementeras de prestigio mundial han introducido en sus procesos este equipo por los grandes beneficios ya explicados además de cumplir con los más rigurosos estándares internacionales cumpliendo con las normas ISO 2001 e ISO 9001.

En lo que respecta a Salud y Seguridad este equipo cuenta con:

- Fuerte revestimiento para aislamiento y protección de la radiación.
- Revestimiento a prueba de fuego.
- Provee un ambiente de trabajo seguro.
- Capacitación sobre salud y seguridad ambiental.

5.6 Uso de los resultados del software para configurar el analizador en línea.

Gracias a que los resultados determinados por el modelo matemático son de una clara procedencia y respaldados por el laboratorio de control de calidad de la planta se puede utilizar como una herramienta que nos ayude a obtener confiabilidad en el equipo analizador ya que con ella se podría identificar variaciones entre los 2 análisis e investigar las razones de ello.

Como la herramienta está diseñada para calcular los valores de dosificación adecuados en base a la composición química de los elementos ésta no está encadenada a realizar sus análisis de la misma base de datos, es decir, los datos se pueden actualizar las veces necesarias y la herramienta procederá a calcular los resultados en base a la resolución del sistema de ecuaciones planteado anteriormente dependiendo su cálculo en mayor parte de los parámetros o módulos a los cuales se requiera obtener el cemento para cumplir los requisitos de calidad. Por ello la confiabilidad de sus resultados depende de la actualización de la base de datos con respecto a la materia prima que esté entrando en el mismo tiempo al proceso.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

- La tecnología cementera avanza continuamente con el fin de ir desarrollando nuevos métodos para controlar de una manera más eficaz el proceso y obtener las mejores características en su producto final, para esto se necesita conocer ampliamente la composición de las materias primas que entraran al proceso de producción. Para llegar a cumplir este objetivo se utilizan muchos métodos de análisis químico, uno de estos son los análisis de fluorescencia por rayos X el cual nos determina de una manera rápida la composición química de la muestra de material analizado.

- Con los resultados obtenidos del análisis químico se puede calcular muchos parámetros que ayudan a controlar el proceso y además predecir el comportamiento que tendrá el material dentro del proceso de fabricación.

- Como se puede ver en las tablas de análisis de rayos X (Tablas 11,12,13,14 y 15), los resultados de la composición de las calizas ya sea de Méndez, Mangan o Guayaquil varían en general de forma indistinta, su densidad, humedad son poco homogéneos aunque la de Guayaquil es muy alta en la composición se $CaCO_3$, muchas de las veces sus valores fluctúan y necesitará de la composición de las otras calizas para llegar a cumplir con los requisitos necesarios de los módulos para fabricar cemento, por lo que las 3 calizas son necesarias para el proceso. Este problema lo lleva acarreando la empresa Guapán de la UCEM por algunos años; la variabilidad química de los componentes de las calizas es muy notable, haciendo que el proceso de fabricación de cemento se dificulte,

además, para no tener problemas con la variabilidad de la calidad del producto, se debe realizar continuas correcciones a la dosificación de la materia prima principalmente durante los procesos de pre-homogeneización y homogeneización que demandan pérdidas de tiempo, energía y recursos a la empresa. Por lo tanto, el éxito de la solución a éste grave problema será dosificar el material que va a entrar al proceso de molienda en tiempo real, y automatizar el proceso para reducir la mano de obra y ganar tiempo el momento de hacer el muestreo, además de poder controlar cualquier problema de variación química que se presente en el momento de una manera oportuna. Así, la solución que se plantea es incorporar al proceso un analizador en línea que nos dé resultados en tiempo real y pueda dosificar y monitorear la mezcla de materias primas para corregir a tiempo la química del crudo y así se pueda controlar adecuadamente la poca homogeneidad que normalmente presentan las materias primas que utiliza la Planta Guapán en el proceso de la molienda.

- Si comparamos los resultados obtenidos de las calizas que se encuentran en la banda del proceso (tabla 16 y 17) con las calizas del hall de la fábrica podemos ver que su composición ha sido alterada ya que para mejorar el proceso a las calizas se las mezcla con materiales correctivos como suele ser la caliza de Guayaquil. De igual manera la composición de la arcilla de la banda del proceso ha sido alterada (tabla 18), con respecto a la arcilla del hall de la empresa (tabla 14), esto se hace por el mismo motivo de mejorar las características de la mezcla de crudo, además por disminuir la alta composición de las arcillas que dificultan su procesamiento. El comportamiento de estás materias primas que han sido mezcladas con materiales correctivos se lo puede distinguir de una mejor manera al momento de usar el modelo matemático ya que la dosificación cambia al usar material de la cantera de la fábrica y al usar el material proveniente de la banda de proceso.

- Gracias a la ayuda de la herramienta de Excel las ecuaciones del modelo se las resolvió mediante matrices lo cual acelera los cálculos de la misma y evita cometer errores en los mismos.
- Se realizó un cálculo con la herramienta tomando como valores de la composición química, los resultados que se obtienen del muestreo realizado por el personal de calidad diariamente y analizados de igual manera en el equipo de Fluorescencia de RX y dieron como resultado valores iguales, por lo que el personal del laboratorio de control de calidad dio por aceptado el correcto funcionamiento de la herramienta.
- El programa nos va a servir para obtener datos previos a la instalación del analizador en línea, y luego de esto comparar los resultados del analizador con los del modelo, para en caso de no ser iguales tomar las medidas respectivas.

- Como se observó en el capítulo 3, las razones primordiales de instalación del equipo son las grandes variaciones que sufre la planta en la composición química de la materia prima aún más en lo que respecta a las calizas, por lo que se puede decir con seguridad que el equipo brindará una enorme ayuda a la planta reduciendo gastos y produciendo un crudo con las mejores especificaciones de calidad requeridas por la normativa.
- El analizador en línea cuenta con una gran aceptabilidad en el mercado debido a su compatibilidad con las plantas de cemento, además cuenta con una calibración dinámica la cual puede ser realizada y controlada por el laboratorio de calidad.
- El modelo matemático servirá como herramienta para controlar que los resultados del equipo analizador en línea sean lo más precisos y exactos.

6.2 Recomendaciones

- Para garantizar la efectividad de cálculo de la herramienta cualquier cambio de cantera o lugar de donde se extraiga la materia prima debe estar reflejada en la base de datos para el cálculo del modelo; por lo que se recomienda actualizar la base de datos con el material que está entrando al proceso de fabricación.

- Gracias a la facilidad que tiene la fábrica al estar provista de equipos que realizan análisis de composición química de manera muy rápida se puede actualizar la herramienta diariamente o cuando la empresa requiera, puesto a que se realizan muestreos a cada hora y mientras la base de datos esté más actualizada los valores calculados por la herramienta serán más precisos, por lo que se recomienda fortalecer el funcionamiento de la herramienta creando un sistema automático de actualización de la base de datos.

- Otra manera de aumentar la confiabilidad del muestreo, y así la linealidad de los resultados de los análisis de composición de la base de datos, se recomienda dar uso a datos históricos de la fábrica para realizar el cálculo de la herramienta, ya que con mayor número de análisis mayor será la fidelidad de los datos a usarse.

- Se recomienda realizar una validación del modelo.

.

Enlaces:

http://www.quiminet.com/articulos/descubra-que-es-y-de-donde-provienen-las-rocas-calcareas-3366343.htm

http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/valoracion-complexometrica#ixzz3JMNLd1eL

http://www.rpsqualitas.es/documentacion/

http://www.rpsqualitas.es/documentacion/dowloads/instrumental/fluorescencia_de_rayos_x.pdf

http://www.bruker.com/es/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/x-ray-fluorescence.html

http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/perdida-por-calcinacion-perdida-por.html

http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/1128/1258

Bibliografia.

Pascual A. Pezzano. (1963). Siderurgia

F. GOMÁ. (1979) El cemento portland y otros aglomerantes. Barcelona- Editores técnicos Asociados S.A.

ANÓNIMO. Tema 8 cementos. España. Obtenida el 28 de Junio de 2014. http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema7.CEMENTOS.R.pdf

LABAHN y KOHLHAAS. (1985). Prontuario del cemento (5ta.Edición). Barcelona – España: Editores Técnicos Asociados S.A.

LLORET, F. (2012).Apuntes de la asignatura de Tecnología de Cementos (modulo 1).Ecuador: Universidad de Cuenca.

DUDA, Walter. (1977).Manual Tecnológico del Cemento. Barcelona-España: Editores Técnicos Asociados S.A.

INEN, NTE INEN 151:2010 (2010-01). Cemento hidráulico. Definición de términos (3ra. Revisión). Ecuador: Normas Técnicas Ecuatorianas.

INEN, NTE INEN 153:2009 (2009-07). Cemento hidráulico. Muestreo y Ensayos (2da. Revisión). Ecuador: Normas Técnicas Ecuatorianas.

INEN, NTE INEN 156:2009 (2009-06). Cemento hidráulico. Determinación de la densidad (2da. Revisión). Ecuador: Normas Técnicas Ecuatorianas.

INEN, NTE INEN 862:2011 (2011-05). Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad (1ra. Revisión). Ecuador: Normas Técnicas Ecuatorianas.

Anexos

1. Procedimiento para determinación de la humedad

Definición.- Se denomina humedad a la cantidad de agua superficial presente en una muestra expresada en porcentaje.

Equipo necesario:

- Copelas taradas.

- Plancha térmica.

- Estufa.

- Balanza.

- Reloj.

Procedimiento.-

1. Pesar 50 o 100 gramos de muestra en una copela previamente tarada

2. Desecar la muestra en la plancha térmica (200 a 300 ºC) durante 15 minutos hasta peso constante

3. Realizar la pesada final luego del enfriamiento respectivo.

Cálculos:

Cálculos.- Se calcula el porcentaje de agua (humedad) por diferencia de peso utilizando la siguiente formula: Humedad= $\frac{(\mathrm{po} - \mathrm{pf})\ \mathrm{x}\ 100}{50}$ = (po - pf)x2

po= peso inicial

pf= peso final

2. Instructivo para determinación de la densidad

Definición.- La densidad real se lo define como la masa sobre el volumen que ocupa esta masa

Equipo necesario:

- Probeta de 1000cm^3

- Parafina

- Plancha térmica

- Balanza analítica

Procedimiento:

- Llenamos la probeta de 1000cm^3 con agua hasta una línea de la escala en la cual vamos a medir y anotamos el valor inicial del volumen del agua.

- Tomamos una muestra del material del cual queramos medir la densidad (debe ser del tamaño granulométrico capaz de introducirse en el diámetro de la probeta).

- Pesamos la muestra en la balanza analítica

- Introducimos la muestra en la parafina líquida previamente calentada en la plancha térmica.

- Sumergimos la muestra del mineral en el agua y anotamos el volumen de agua que nos mide la probeta.

Cálculo:

Densidad= Masa o peso/Vf-Vo

Vf= Volumen final
Vo= Volumen inicial

3. Instructivo para toma y preparación de muestras

GUAPÁN Construimos progreso UCEM UNIÓN CEMENTERA NACIONAL	**Control de Calidad**	Código:I.CK-7.1-01
		Revisión:1
	Instructivo para toma y preparación de Muestras	Fecha:08/03/2014

1. PROPOSITO:

Establecer una instrucción para la toma y preparación de muestras.

2. ALCANCE:

Aplica a las materias primas, producto en proceso y producto terminado de la Unión Cementera Nacional – Planta Guapán.

3. DEFINICIONES:

- **Cuarteador:** Equipo utilizado para sacar una muestra representativa de una determinada cantidad. de material a analizar.

- **Muestra:** Es una cantidad de material extraída de un lote, al azar o mediante un procedimiento de muestreo estadístico a considerar y representativa de la calidad del mismo.

- **Barreno:** Agujero realizado por la perforadora en un banco de explotación

4. RESPONSABILIDADES:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Ayudante de Fabricación y Muestreo y/o Analista de Control de Calidad.

5. EQUIPO:

- Cuarteador
- Bandeja para cuarteo
- Tamiz
- Saca-muestras

6. INSTRUCCIONES:

6.1. En la mina a extraer el material, se lleva a cabo el muestreo cada vez que se requiera y esta necesidad será comunicada por el Departamento de Minas.

6.1.1. Se toma una muestra de cada perforación, preparada por el personal de Minas en una cantidad aproximada de 1 kg.

6.1.2. En el cuarteador de muestras se realiza la clasificación de la muestra.

6.1.3. Tomar una cantidad aproximada de 0.25 kg de la muestra clasificada.

6.1.4. Mezclar y extraer una sola muestra de aproximadamente 0.1 kg para determinar la humedad según *I. CK -7.1- 02.*

6.1.5. Proceder a la pulverización de la muestra en el vibro molino.

6.1.6 Colocar en la chapeta de aluminio e identificarla convenientemente

7. REFERENCIA:

- Norma NTE INEN 153

4. Instructivo para análisis de muestras por Rayos X

GUAPÁN Construimos progreso / UCEM Unión Cementera Nacional	**Control de Calidad**	Código:I.CK-7.1-10
		Revisión:1
	Instructivo para Análisis de Muestras por Rayos X	Fecha:08/03/2014

1. PROPOSITO:

Establecer el instructivo para la realización de análisis de muestras por fluorescencia de rayos x.

2. ALCANCE:

Se aplica esta instrucción al análisis de muestras de arcillas, caliza, crudo, clínker, yeso, puzolana, cemento en la UCEM - C.E.M. - Planta Guapán.

3. DEFINICIONES:

- **Arcilla:** Suelo o roca sedimentaria, plástica y tenaz cuando se humedece. Se endurece permanentemente cuando se cuece o calcina.
- **Caliza:** Tipo común de roca sedimentaria, compuesta por calcita (carbonato de calcio, $CaCO_3$). Cuando se calcina (se lleva a alta temperatura) da lugar a cal (óxido de calcio, CaO). La caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol.
- **Yeso:** Mineral común consistente en sulfato de calcio hidratado ($CaSO_4 2H_2O$).
- **Crudo:** Material calcáreo que ha pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado para continuar con el proceso.
- **Clinker Portland:** Es la producto de la cocción a altas temperaturas de una mezcla intima de materiales arcillosos y calcáreos finamente molidos antes de su cocción y en proporciones determinadas.
- **Cemento Portland:** Producto de moler a una fineza determinada el clinker portland con un porcentaje adecuado en masa de yeso. Puede molerse con otros materiales (puzolana, escoria etc.) dando lugar a los diferentes tipos de cemento.
- **Espectrómetro:** Instrumento que genera, analiza y registra espectros y que permite determinar la composición química por medio de la incidencia de rayos x a través de la técnica de fluorescencia de rayos x sobre la muestra de estudio.
- **UCEM – C.E.M.** Unión Cementera Nacional - Compañía de Economía Mixta.

4. RESPONSABILIDADES:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Supervisor de Control de Calidad, Analista de Control de Calidad y Ayudante de Fabricación y Muestreo.

5. EQUIPO:

- Chapas de aluminio
- Vibromolino
- Prensa Hidráulica

- Pinza
- Plancha térmica
- Bandeja de aluminio
- Espectrómetro

6. INSTRUCCIONES:

6.1. Tomar la muestra preparada según *I.CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras.*

6.2. Colocar sobre una capsula de aluminio la muestra a prensar. Colocarlo en el contenedor prensa hidráulica.

6.3. Cerrar y Prensar la muestra con el accionamiento, pulsando el botón principal.

6.4. Abrir y accionar la prensa para sacar la muestra prensada (pastilla).

6.5. Colocar la(s) muestra(s) en el cargador identificando su posición y cerrar la compuerta en el menor tiempo posible.

6.6. En la pantalla touch screen o desde el computador identificar las muestras de acuerdo a su composición.

6.7. Tabular la identificación (códigos) de la siguiente forma:

Código	**Hora**
TR para trituración	XXH
MC para molino de crudo	XXH
SC para silo comprobado	1, 2,…
AH para alimentación al horno	XXH
KK para clinker	XXH
FF para cemento de fabricación	XXH
EE para cemento de expendio	XXH
Cualquier etiqueta para el resto de materiales	XXH

6.8. Realizar la lectura desde la pantalla touch screen o desde el computador utilizando los programas preparados para el efecto como los siguientes.

HCRUDA	Alimentación al horno, silos comprobados, Molino de crudo, material de trituración, Calizas.
CLINKER GUAPAN	Para clinker.
CEMENTO1	Cemento de fabricación y expedición
ARCILLA	Para arcilla

6.9. Registrar los datos en R.CK-7.1-12 – R.CK-7.4-01 – R.CK-7.1-01 según corresponda.

7. REFERENCIA:

- R.CK-7.1-01 Instructivo para toma y preparación de muestras.
- Manual del espectrómetro.

8. ANEXOS:

- No Aplica.

5. Instructivo para determinación de la composición elemental

GUAPÁN Construimos progreso UCEM UNIÓN CEMENTERA NACIONAL	**Control de Calidad**	Código:I.CK-7.1-07 Revisión:1
	Instructivo para determinación de la Composición Elemental	Fecha:08/03/2014

1. PROPOSITO:

Determinar la composición elemental (análisis químico por el método complexométrico) de una muestra.

2. ALCANCE:

Se aplicará esta instrucción a muestras de calizas, harina cruda, clínker, arcillas, puzolana, cemento en la UCEM - C.E.M. - Planta Guapán.

3. DEFINICIONES:

- **Composición Elemental:** Se denomina composición elemental a la determinación de los contenidos porcentuales de sílice, hierro, aluminio, calcio y magnesio; expresado por sus óxidos, además del porcentaje de residuo in-soluble, pérdidas al fuego, y sulfato de calcio en forma de SO_3
- **Harina cruda (crudo):** Material calcáreo que ha pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado en cuanto a su fineza para continuar con el proceso.
- **E.D.T.A.:** También llamado Ácido Etilen Diamino Tetracético, es el titulante complejométrico más versátil.
- **HCl:** Llamado acido clorhídrico se utiliza como ácido fuerte y volátil.
- **Método complexométrico.-** Es una forma de análisis volumétrico basado en la formación de compuestos poco disociados, es utilizado para la determinación de una mezcla de diferentes iones metálicos en solución. Generalmente se utiliza ácido clorhídrico e indicadores para detectar el punto final de la valoración.
- **UCEM – C.E.M.** Unión Cementera Nacional - Compañía de Economía Mixta.

4. RESPONSABILIDADES:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Supervisor de Control de Calidad.

5. EQUIPO Y REACTIVOS:

- Balanzas analíticas
- Plancha térmica
- Mufla
- Solución de HCl concentrado
- Cloruro de amonio
- Cianuro de potasio
- Sulfato de cobre
- Solución de EDTA

- Indicadores varios
- Trietanolamina
- Estabilizadores de pH.

6. INSTRUCCIONES:

ANALISIS QUIMICO (COMPOSICIÓN ELEMENTAL)

6.1. Crudo:

6.1.1. Pesar 3 g aproximadamente de muestra y colocar en un crisol de platino previamente tarado.

6.1.2. Calcinar en una mufla a 1350 °C durante mínimo 20 min iniciando con la temperatura a 950 +/- 50 °C.

6.1.3. Pulverizar la muestra y continuar procedimiento para clinker y cemento desde 6.2.2.

6.2. Clinker y Cemento:

6.2.1. Tomar la muestra y desecar durante 15 min en la estufa.

6.2.2. Pesar en la balanza 2 muestras de 1 g +/- 0.0001 de muestra y colocarlos en dos vasos de precipitación de 50 cm^3; 1g en cada vaso de precipitación.

6.2.3. Agregar en él un vaso que contiene un gramo de muestra, 25 cm^3 de HCl concentrado.

6.2.4. Atacar completamente con la ayuda de una varilla de vidrio y calentar para disolver. Dejar en baño de María.

6.2.5. Agregar 5 cm^3 de solución de gelatina previamente calentada luego de 30 min y dejar en reposo durante 1 h a baño de María.

6.2.6. Filtrar utilizando un papel filtro de retención media con ayuda de agua destilada caliente de forma que el vaso quede completamente limpio.

6.2.7. El filtrado recibimos en un balón de aforo de 250 cm^3.

6.2.8. Se lava el filtrado con agua destilada.

6.2.9. Se afora con agua destilada.

Determinación de Sílice:

- Colocar el precipitado (filtrado) en un crisol de platino previamente tarado.
- Ingresar en la mufla a 950+/- 50 °C durante 1 h iniciando la misma a 800 °C.
- Sacar, enfriar y pesar.

Insoluble en FH

- Humedecer el contenido de la determinación de la sílice.
- Añadir al crisol 3-4 gotas de ácido sulfúrico concentrado.
- Agregar 5 cm^3 de ácido fluorhídrico.
- Desecar en la plancha térmica.
- Depositar el crisol en la mufla durante 1 h a 950 +/-50 °C iniciando la misma a 800 °C .
- Enfriar y pesar.

Determinación de Cationes

- Luego de recibir el filtrado procedente del ataque para determinación de sílice en un balón de 250 cm^3 y enfriar, aforar el balón con agua destilada.
- Agitar y homogenizar.
- Pipetear para: Fe: 50 cm^3 Ca: 20 cm^3 Al: 50 cm^3 Mg: 20 cm^3
- Poner estas alícuotas en vasos de precipitación de 250 cm^3 o más.

Determinación de Fe_2O_3

- Ajustar la alícuota en pH: 1.5 - 1.7
- Agregar indicador ácido sulfosalicílico hasta coloración violeta intenso.
- Calentar.
- Titular con EDTA (hasta coloración normal).

Determinación de Al_2O_3

- Ajustar la alícuota en pH: 3.
- Agregar 10 cm^3 de EDTA.
- Calentar hasta ebullición.
- Agregar aproximadamente 4 gotas de indicador PAN.
- Titular con sulfato de cobre hasta coloración violeta.

Determinación de CaO.

- Agregar con una probeta 20 cm^3 de potasa al 20% + 5 cm^3 de trietanolamina al 20%.

- Agregar una pequeña cantidad de indicador calceína.
- Titular con EDTA hasta viraje o cambio de coloración de verde claro a ligeramente rosa.

Determinación de MgO.

- Agregar con una probeta 25 cm^3 de cloruro de amonio + 10 cm^3 de trietanolamina al 20%.
- Adicionar una pequeña cantidad de ácido ascórbico y agitar.
- Agregar pequeña cantidad de cianuro de potasio y agitar.
- Adicionar gotas de indicador rojo de metilo y eriocromo negro.
- Titular con EDTA hasta viraje con cambio de coloración de pardo rojizo a verde.

6.3. Arcillas (puzolana) y material menor al 72% en título:

6.3.1. Pesar 0.5 g de muestra luego de determinada la humedad según *Instructivo para Determinación de la Humedad I.CK-7.1-02* y pulverizada colocar en un crisol de platino previamente tarado.

6.3.2. Pesar 0.5 g de CO_3Na_2 y adicionarle a la muestra en el crisol.

6.3.3. Pesar 0.5 g de CO_3K_2 y adicionarle a la muestra en el crisol.

6.3.4. Homogenizar con movimientos rotatorios al crisol.

6.3.5. Cubrir la mezcla homogenizada con 1 g de CO_3Na_2 y 1 g de CO_3K_2 respectivamente.

6.3.6. Poner el crisol con tapa en una mufla a 1000 °C iniciando desde 500 °C durante 30 min.

6.3.7. Sacar y con la ayuda de una piceta con el agua destilada contenida en esta producir un shock térmico.

6.3.8. Colocar este crisol y tapa en un vaso de precipitación de 500 cm^3 y atacar con HCl 1:1 con aproximadamente 25 cm^3 para disolver.

6.3.9. Lavar con agua el crisol y tapa y dejar el vaso que contiene el crisol a baño de maría en reposo hasta sequedad cubierto con una luna de reloj.

6.3.10. Adicionar 25 cm^3 de HCl concentrado al vaso y disolver.

6.3.11. Seguir procedimiento para análisis de clinker-cemento desde 6.2.4.

Determinación del SO_3 (solo cemento y clinker)

6.4. Con el otro vaso de precipitación que contiene 1 g de muestra se añade 25 cm^3 de agua destilada y 5 cm^3 de HCL concentrado se calienta y disuelve se añade agua destilada hasta 50 cm^3 y se calienta a ebullición.

6.5. Se filtra sobre un embudo que contiene colocado un papel filtro de retención media y se recibe el filtrado en un vaso de precipitación.

6.6. Se lleva el vaso con su contenido a ebullición y en ese momento añadir lentamente (goteo continuo) 25 cm^3 de cloruro de bario al 20% agitando.

6.7. Dejar este vaso con su contenido durante 3 h en baño de María.

6.8. Filtrar sobre un embudo que contiene papel filtro de retención media.
6.9. El filtro y su retenido ponerlo sobre un crisol de porcelana previamente tarado.

6.10. Llevar este crisol a la mufla a 1100 °C durante 1 h iniciando desde 800 °C.

6.11. Enfriar y pesar.

Determinación del SO_3 (harina cruda)

Seguir instrucción *I.CK-7.1-09, Instructivo para Determinación de Sulfatos* a partir del numeral 6.2.

Determinación de las pérdidas al fuego

Mediante la instrucción *I.CK-7.1-11, Instructivo para Determinación de las Perdidas por Calcinación.*

7. CALCULOS:

Se utilizarán las siguientes fórmulas:

- **% Fe_2O_3** = 1.996 x ml x K EDTA.
- **% Al_2O_3** = 1.275 { [(10 - ml Fe_2O_3) x K EDTA] - [K SO_4Cu * ml SO_4Cu] }
- **% MgO** = 2.52 (ml - ml CaO) x K EDTA.
- **% CaO** = 3.505 (ml x K EDTA).
- **% SiO_2** = {(Cris + Muest)-(Cris + Res.insolub.)} x 100.

6. Procedimiento para validación de resultados en los análisis por fluorescencia de Rayos X

GUAPAN cemento / hormigón	**Control de Calidad**	Código: P CK-5.9.1
		Revisión:0
	Procedimiento para validación de resultados en los análisis por Fluorescencia de rayos x	Fecha:22/05/2014

1. PROPOSITO:

Establecer un procedimiento documentado para la validación de los resultados obtenidos de los análisis que se realizan por fluorescencia de rayos X, en base a la comparación con los resultados obtenidos por los métodos complexométrico descrito en el instructivo I.CK.7.1-07 y Guapán Quant.

2. ALCANCE:

Este procedimiento se aplica a la verificación de los resultados obtenidos por fluorescencia de rayos x, con el objetivo de que sean admitidos como métodos de análisis de materias primas, producto en proceso y producto terminado en el Laboratorio de Control de Calidad de la planta industrial Guapán, perteneciente a la Unión Cementera Nacional (UCEM-CEM).

3. DEFINICIONES:

- **Calibración:** El conjunto de operaciones, que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre valores indicados mediante instrumentos de medición o mediante un sistema de medición, o valores representados por una medida de material o un material de referencia, y los valores correspondientes de una cantidad realizados mediante un patrón de referencia.

- **Difracción de rayos x**: Técnica utilizada para la determinación del contenido mineralógico de una determinada muestra; es un fenómeno físico que se produce al interaccionar un haz de rayos x de una determinada longitud de onda, con una sustancia cristalina. La difracción de rayos x, se basa en la dispersión coherente del haz de rayos x por parte de la materia y en la interferencia constructiva de las ondas que están en fase y que se dispersan en determinadas direcciones del espacio.

- **Fluorescencia de rayos x (XRF):** Técnica utilizada para el análisis químico de un material determinado; se basa en la emisión de rayos x secundarios o fluorescentes característicos de un material que ha sido excitado al ser bombardeado con rayos X de alta energía o rayos gama.

- **Incertidumbre de la medición**: El resultado de la evaluación encaminada a caracterizar el intervalo dentro del cual se estima que estará el valor verdadero de una magnitud medida, generalmente con una probabilidad dada.

- **Verificación**: es la acción de verificar (comprobar o examinar la verdad de algo). La verificación suele ser el proceso que se realiza para revisar si una determinada cosa está cumpliendo con los requisitos y normas previstos.

- **Método complexométrico**.- Es una forma de análisis volumétrico basado en la formación de compuestos poco disociados, es utilizado para la determinación de una mezcla de diferentes iones metálicos en solución. Generalmente se utiliza ácido clorhídrico e indicadores para detectar el punto final de la valoración.

- **Método Guapan-Quant**.- Es un método de análisis por fluorescencia de rayos x, basado en la elaboración de curvas específicas para cada elemento presente en una muestra, sea de crudo, clinker, cemento u otro material construidas con muestras patrón adquiridas al proveedor Bruker o NIST con trazabilidad internacional.

4. RESPONSABILIDADES:

Es responsabilidad del Jefe y Supervisor de Control de Calidad aplicar y cumplir con este procedimiento en lo que corresponda respectivamente.

5. PROCEDIMIENTO:

Para validar los datos que se obtienen en los análisis por fluorescencia de rayos X, se realiza la comparación con los obtenidos al realizar el análisis por el método complexométrico cada quince días, para confirmar la aplicabilidad de los mismos.

Seguimiento al equipo tanto en el ajuste o calibración lo que evita el error en la medición.

Si es que hubiese una diferencia mayor a la establecida en la Norma INEN 160 para cada uno de los elementos de la muestra, se determina la incertidumbre de acuerdo al "Procedimiento para la estimación de la incertidumbre de medición en los ensayos que se practican en el laboratorio de control de calidad" **P CK-5.4.6.3** en base a

muestras patrón con trazabilidad internacional, sean estas ASTM, NIST, con las cuales se realiza nuevamente el análisis que arroja resultados que indican si es necesario efectuar un ajuste o calibración de los equipos de fluorescencia. Si esto ocurriese se procede conforme a las instrucciones de “Manual de Metrología para la Verificación de Equipos de Seguimiento y Control” en su numeral **6.10** “Verificación de Equipo de Fluorescencia y Difracción de Rayos X”

Los resultados de las validaciones de los métodos de ensayos se almacenarán en el computador del área de rayos x, bajo la responsabilidad del Supervisor y Jefe del Departamento de Calidad con la denominación: “ Validación de métodos de ensayo por fluorescencia de rayos x”, en el registro **R.CK-7.1-12,** con una frecuencia mensual.

6. REFERENCIA:

- Manual del equipo de fluorescencia de rayos x
- Manual de Metrología para la Verificación de Equipos de Seguimiento y Control.
- Procedimiento para la estimación de la incertidumbre de medición en los ensayos que se practican en el laboratorio de control de calidad.

7. ANEXOS:

- No Aplica

7. Instructivo para determinación de las Pérdidas por Calcinación

GUAPÁN Construimos progreso UCEM UNIÓN CEMENTERA NACIONAL Construyendo el Ecuador	**Control de Calidad** Instructivo para determinación de las Perdidas por Calcinación	Código:I.CK-7.1-09 Revisión:1 Fecha:08/03/2014

1. PROPOSITO:

Establecer la instrucción para la determinación de las perdidas por calcinación.

2. ALCANCE:

Esta instrucción se aplicará a las muestras de los siguientes materiales: Harina cruda, arcilla, puzolana, clínker y cemento en la UCEM - C.E.M. - Planta Guapán.

3. DEFINICIONES:

- **Perdidas al Fuego:** Determinación del porcentaje de sustancias volátiles orgánicas presentes en la muestra.
- **Crudo:** Material calcáreo que ha pasado por el proceso de trituración y molienda, y se ha seleccionado para continuar con el proceso.
- **Clínker Portland:** Es el producto de la cocción a altas temperaturas de una mezcla intima de materiales arcillosos y calcáreos finamente molidos antes de su cocción y en proporciones determinadas.
- **Cemento Portland:** Producto de moler a una fineza determinada el clínker portland con un porcentaje adecuado en masa de yeso. Puede molerse con otros materiales (puzolana, escoria etc.) dando lugar a los diferentes tipos de cemento.
- **CO_3Ca:** Carbonato de Calcio.
- **UCEM – C.E.M.** Unión Cementera Nacional - Compañía de Economía Mixta.

4. RESPONSABILIDADES:

La aplicación de este instructivo es responsabilidad del Jefe de Control de Calidad y/o Supervisor de Control de Calidad.

5. EQUIPO:

- Balanza
- Mufla
- Crisol de platino.

6. INSTRUCCIONES:

6.1. Pesar aproximadamente 3.0000 gramos de muestra para harina cruda y aproximadamente 2.0000 gramos para clínker y cemento, arcilla, puzolana en un crisol de platino previamente tarado.

6.2. Introducir en la mufla el crisol a temperatura y tiempo indicado en el cuadro siguiente, iniciando con la temperatura de 800 °C.

Material	**Temperatura (°C)**	**Tiempo (minutos)**
Cemento – clínker	1000 +/- 50	60
Harina cruda ≤ 72 % CO_3Ca, arcilla (puzolana)	1000 +/- 50	60
Harina cruda 〉72 % CO_3Ca	1350 +/- 50	20

6.3. Retirar el crisol y depositarlo en el desecador para enfriamiento durante 5 min.

6.4. Realizar la pesada final del crisol.

7. CALCULOS:

Se aplica la siguiente fórmula:

$$\% \text{ P.F.} = \frac{P}{M} \times 100$$

$$P = (Cv + M) - Cc$$

- P.F. = Perdida por calcinación
- Cv = Peso crisol vacio
- Cc = Peso del crisol calcinado
- M = Peso de la muestra.

8. REFERENCIA:

- Norma NTE INEN 160 Análisis químico perdidas por calcinación.
- Norma NTE INEN 498 Puzolanas: Determinación de la perdida por calcinación.

9. ANEXOS:

- No Aplica