

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

PROGRAMA DE EXPERIENCIAS DOCENTES CON LA COMUNIDAD -EDC-
SUBPROGRAMA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-

INFORME FINAL DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS- REALIZADO EN

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
PLANTA SAN MIGUEL

CEMENTOS PROGRESO, S.A.

DURANTE EL PERIODO COMPRENDIDO

DEL 1 DE AGOSTO 2005 AL 3 DE FEBRERO 2006



PRESENTADO POR

MARIO MANUEL RODAS MORAN

ESTUDIANTE DE
QUIMICA

original

EDC
8-Mayo-2006

Nombre: *Juanita de San*

Firma: *[Signature]*

Hora: *1:00*

SERIE DE INFORMES DE EPS

REF. EPS. Q.CEM.PROG.2/2005

GUATEMALA, 4-MAYO-2006

INDICE

1. INTRODUCCIÒN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. ACTIVIDADES DESARROLLADAS	5
A. ACTIVIDADES DE DOCENCIA.....	5
B. ACTIVIDADES DE SERVICIO	9
C. ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÒN.....	13
IV. ANEXOS	41

I. INTRODUCCIÓN

Planta San Miguel, fue inaugurada en la década de los 70, como ampliación en aquel tiempo de “Cementos Novella”, que se encontraba en la Finca la Pedrera, actualmente en la zona 6 de la Ciudad de Guatemala.

En el Laboratorio de Control de Calidad, donde se realizó el Ejercicio Profesional Supervisado, se realizan análisis a muestras de producción de cemento y cal, desde cantera hasta el producto final.

Además en este laboratorio se realizan investigaciones buscando la mejora de la producción en todos los aspectos, desde mejoras en Cantera (análisis más rápidos y precisos) pasando por mejoras de molienda y hornos, hasta mejoras en Empaque.

Por ello, en este informe se enumeran algunos resultados importantes obtenidos a lo largo de las 27 semanas de EPS. Primero se realizó una investigación de aditivos para mejorar la quemabilidad (o por lo menos para que la quemabilidad no se vea afectada, ya que por lo general son productos de desecho) de la harina cruda, con ello además se monitoreó la quemabilidad de la harina cruda. Se realizó una investigación encaminada a observar la viabilidad de utilizar aditivos super plastificantes en el cemento, estos reducen la proporción agua cemento (w/c) de la mezcla. Se logró realizar una investigación acerca de la cinética de formación de grumos en cemento UGC y CFB, montaje de equipos (pHmetro) y capacitación a personal.

En el aspecto de Servicio se realizaron análisis apoyando el trabajo de producción. Las actividades que más se apoyaron fueron: análisis de resistencia mecánica en cubos de 50*50, análisis de fluor en harina cruda y clinker, poderes caloríficos en combustibles, cal libre por método de acetato de amonio. Además de estos análisis, se realizaron actividades de servicio, como montaje de aparato para potenciometría y pruebas de nuevos métodos a implementarse.

Estas últimas facetas del servicio, dieron lugar a las actividades de docencia, las cuales consistieron en capacitar al personal en el uso de diversos equipos y métodos nuevos.

Los resultados en general, generaron suficiente información, para ser tratada y puede ser útil en la toma de decisiones, por lo que a cada una de las investigaciones que se realizaron en esta práctica puede dársele un seguimiento, para una mejora continua de los procesos de análisis y procesos productivos en la planta San Miguel de Cementos Progreso.

No está de más indicar que esta sede ofrece un lugar propicio para el químico que tenga un perfil de investigador, químico industrial y químico orientado al Control de la Calidad, temas que forman parte del pensum de químico y que la sede cubre bastante bien.

II. ANTECEDENTES.

1. Cementos Progreso:

Cementos Progreso S.A., es una empresa dedicada a la manufactura de Cemento desde hace 106 años, Cementos Progreso S.A., nace de la visión de Carlos Novella Klee, quien en Europa aprende la manufactura de cemento y observando que las materias primas se encuentran en Guatemala, decide emprender el reto.

La visión de Cementos Progreso S.A. es “Compartimos sueños, construimos realidades” en otras palabras, se comparten los retos y en las vicisitudes de los guatemaltecos y se trabaja buscando medios para lograrlos. Para ello se funda la primera planta de cemento en Guatemala, en la zona 6, en la finca La Pedrera, ahí se da un paso para el sueño de lograr un mejor desarrollo para el país.

La misión de Cementos Progreso S.A. va encaminada a la satisfacción del cliente, no se puede satisfacer al cliente si no se le da un producto de calidad, por ello Cementos Progreso S.A., tiene como misión desarrollar un producto de calidad, que cumpla con normas de calidad ya establecidas tanto nacionales como internacionales.

Importante para Cementos Progreso es el capital humano con que cuenta, por ello realiza un producto, teniendo en cuenta a sus trabajadores y buscando su promoción en la empresa.

2. Productos:

Para la producción de cemento se requiere una proporción de caliza y esquisto de 80:20, a esta mezcla se le agregan otros aditivos y se cuece a una alta temperatura. Al producto del cocimiento se le conoce como Clinker, a este se le agrega caliza, yeso y arena volcánica y se tiene el cemento tipo Portland.

El cemento es un polvo fino y de color gris que, al ser mezclado con agua, forma una pasta que se endurece y que es capaz de unir materiales entre sí. Como se endurece por la acción del agua, se dice que es hidráulico. Gracias a este endurecimiento y a sus características físicas y químicas, el cemento es capaz de alcanzar diferentes grados de resistencia, haciéndolo un producto ideal para la construcción y fabricación de materiales para esta industria. En Guatemala, los cementos más utilizados en la construcción son el 4,000 y el 5,000 PSI; aunque existen otros tipos de cementos como el Tipo V y el Tipo H, que tienen usos específicos.

El cemento que más se produce en planta San Miguel es el cemento UGC, que por sus siglas significa que es para Uso General de la Construcción, es decir,

para todos los trabajos normales en una construcción, y resiste más de 4,000 libras por pulgada cuadrada (PSI) después de 28 días de fraguado.

Además en la Planta se Produce el cemento CFB, que por sus siglas se conoce como Cemento para la Fabricación de Blocks, este cemento es de secado rápido, puede llegar a más de 2,700 PSI, después de un día de Fraguado y después de 28 días de fraguado resiste más de 5000 PSI.

3. Sistema de Aseguramiento de la Calidad (SAC)

Se expresaba anteriormente la calidad como un camino para llegar a la satisfacción del cliente. Para lograr esto se trabaja con la norma ISO 9001:2000, la cual se enfoca al registro de los procesos en función de una política de calidad, con el objeto de realizar mejoras de productos y procesos.

También se cuenta con un sistema de mantenimiento del cemento (MAC), el cual genera mejoras en rendimientos, encaminado a la optimización en todos los niveles, y ser obviamente más competitivos, sin bajar la calidad de los productos.

Además, la capacitación del personal es importante para Cementos Progreso S.A., ya que se invierte suficiente tiempo en la obtención de conocimiento, apoyar al personal que ya se encuentra en la planta, y así se logra una mejor calidad en los productos.

4. Sistema de Aseguramiento Ambiental (SAA).

En los procesos que el hombre desarrolla es imposible no tener repercusiones al medio ambiente, pero se pueden controlar y perfeccionar, para que los efectos sean los mínimos posibles. Hay diversas formas de generación de polutantes y más aún, las hay de control y manejo.

Por ello, se estableció un sistema de aseguramiento ambiental, que aplica procesos más amigables con el medio ambiente, para ello existen planes de utilizar menos clinker, con ello, hay menos emisión de CO₂ a la atmósfera (se conoce actualmente que la concentración de este gas incide en el calentamiento global). Con ello se busca la reducción de combustibles fósiles sustituyéndolos por combustibles alternos. La meta para el año 2006, es de utilizar el 12% de energía en combustibles fósiles.

Un programa a nivel de planta es el denominado "Por un Ambiente Limpio" en el que una parte se enfoca a la clasificación de desechos y consiste en el uso de recipientes y bolsas de distintos colores, para separar la basura.

5. Seguridad de la Planta (OH&S)

La Planta San Miguel tiene como objetivo la acreditación en seguridad industrial, a fin de reducir el nivel de índice de severidad de accidentes (que se entiende por los días que el empleado deja de laborar por un accidente de trabajo) y además la frecuencia de los mismos.

La seguridad de la planta se encuentra regida por las regulaciones y leyes nacionales, pero en especial por las normas OH&S, que regulan el ruido en la planta, protección respiratoria y protección para cabeza.

6. Organización de la Planta.

La planta San Miguel está organizada, obviamente de acuerdo al proceso de producción, el proceso de un producto es un proceso cíclico:

1. Aspecto de Planeación: Para la manufactura del cemento, se tiene un área encargada de identificar oportunidades y proyecciones de oferta, esto nos lleva a que en esta parte de la organización se necesita liderazgo, por lo que acá se cuenta con la Gerencia General y el Área de Logística, la cual de acuerdo a la toma de decisiones define y planifica la producción.
2. Producción: En el cemento la producción inicia en la cantera, donde se obtienen la mayoría de materias primas para la elaboración del producto, caliza, esquisto y arena volcánica, esto apoyado con exploración geológica y excavación. Después la mezcla de materias primas se prehomogeniza, se muele en partículas menores por lo regular a 125 micrones. Posteriormente se cuece en el horno, a 1,400 grados centígrados, para formar un nuevo mineral llamado Clinker, que en su mayoría consiste en carbonatos cálcicos, por lo regular tricálcicos y di cálcicos, que luego es llevado a molinos de cemento. En todas las etapas hay personal altamente capacitado para la función que realiza.
3. Por último existe el Área de Soporte, en la que se encuentra el departamento de Control de Calidad donde se realizó la práctica, este apoya grandemente a la producción, resolviendo problemas y monitoreando tanto la calidad de la materia prima como la del producto. Además en esta área se encuentra el Departamento de Optimización y Medio Ambiente, Recursos Humanos y Reclutamiento.

III. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

A. Actividades de Docencia:

1. OBJETIVOS:

- 1.1. Llevar a cabo actividades enfocadas al aprendizaje del personal.
- 1.2. Llevar a cabo capacitaciones magistrales que permitan la comprensión de seguridad en laboratorio.

2. ACTIVIDADES

2.1. Rutinarias:

Pesaje

Titulación

Seguridad

2.2. Especiales:

Capacitación al personal para uso correcto del método de Flúor

Capacitación al personal para uso correcto de método de cloro en combustibles

Elaboración de guía para medición de Fluor:

3. RESULTADOS

Apoyo al personal a tener en cuenta las recomendaciones de pesaje de acuerdo a la metrología internacional.

Apoyo al personal a tener en cuenta la velocidad de titulación o medición con bureta.

Apoyo al personal de laboratorio a tener en cuenta el uso de la campana de extracción de gases de flujo laminar.

Se capacitó al personal técnico-profesional de laboratorio de control de calidad, para uso correcto de aparato y equipo para medición de Fluor en: Harina cruda, clinker, cemento, Flourita.

Se capacitó al personal técnico-profesional de laboratorio de control de calidad, para la correcta medición de Cloro en Combustibles.

Se elaboró una guía didáctica para la operación del potenciómetro Metrohm, en ella se incluye, el protocolo para la calibración.

Elaboración de Procedimiento Experimental para Cuantificación de Cloro en combustibles: Se elaboró un procedimiento experimental en base a la referencia ASTM.

4. DISCUSIÓN

Como se observa, la mejor forma de evaluar es con una muestra de referencia, y observar la diferencia que existe entre lo que se certifica por el instituto que emite la muestra y el dato reportado por el analista.

Por un lado que la diferencia entre una y otra es mínima y permisible, de acuerdo a normas ASTM, que rige variaciones entre muestras certificadas y datos reportado por el analista, y por otro la repetibilidad entre muestras replicadas, con ello se tiene certeza que la capacitación tuvo éxito.

Además con estos parámetros evaluados se tiene certeza que el método fue comprendido en su totalidad y que puede implementarse de manera correcta.

5. Conclusiones:

- Se logró capacitar de manera adecuada al personal del laboratorio de control de calidad, para la medición de fluor.
- Se logró un impacto leve, pero positivo en cuanto a la aplicación correcta de las técnicas de laboratorio.
- Se logró elaborar una guía didáctica para el personal técnico del laboratorio para la correcta operación de potenciómetro.

6. Recomendaciones:

- Monitorear la capacitación adquirida de los analistas en la técnica de análisis de fluor al menos una vez por año.
- Medir diferencias entre turnos, para medir robustez del método.

B. ACTIVIDADES DE SERVICIO

1. Objetivos:

- Realizar actividades de servicio para apoyar el trabajo diario en el Laboratorio químico de la Planta San Miguel de Cementos Progreso, Sanarate, El Progreso.

2. Actividades:

- Rutinarias:

Análisis de Resistencia mecánica en cubos a distintos tiempos de curado

Análisis de Flúor

Análisis de poderes caloríficos para combustibles

Análisis de Pérdida al fuego

- Especiales:

Método de Flúor con nuevo potenciómetro

Método de Cloro para combustibles

Método de Cloro para Clinker, Arena Volcánica y Cemento

Análisis de Cloro en Toba

3. Resultados:

Análisis de Resistencia mecánica en cubos a distintos tiempos de curado: Se apoyó por lo regular a los analistas de laboratorio físico.

Análisis de Flúor: Se apoyó el análisis de rutina para flúor en muestras de harina cruda y clinker.

Análisis de poderes caloríficos para combustibles: Se apoyó el análisis de poderes caloríficos para combustibles, tanto alterno como de rutina.

Análisis de Pérdida al fuego: Se apoyó el análisis de pérdida al fuego, para Clinker y cemento fundido.

Método de Flúor con nuevo potenciómetro: Montaje de método de flúor con nuevo potenciómetro. En este se realizaron estudios paralelos con el antiguo método.

Método de Cloro para combustibles: Pruebas para método de Cloro en combustibles. Se realizaron pruebas especiales y muestras.

Método de Cloro para Clinker, Arena Volcánica y Cemento: Se montó el método para la determinación potenciométrica para Cloro en distintos minerales.

Análisis de Cloro en Toba: Ya montado el método se muestreo y se analizó el % de Cloruro en la muestra.

4. Discusión:

El trabajo especial de servicio, llenó las expectativas y fue un importante apoyo para tomar nuevos métodos de análisis que se harán de rutina, que a medida que continúen realizándose se podrán perfeccionar.

El servicio en el Laboratorio en Planta San Miguel, no es un trabajo absolutamente necesario para lograr los objetivos del EPS, pero si es una ayuda, un apoyo, a fin de que el trabajo programado salga en los tiempos establecidos sin comprometer la confiabilidad de los resultados de laboratorio.

A lo largo de la práctica se pudo comprobar que el trabajo se realiza de forma correcta en varios análisis encontrando pocas deficiencias en cuanto a técnicas de laboratorio (pesaje, medición de volúmenes, toma y tratamiento de la muestra, etc), ya que el personal posee una buena especialización y capacitación constante.

5. Conclusiones:

- Se realizaron actividades de servicio que ayudaron al buen desarrollo de las tareas del Laboratorio de Control de Calidad.
- Se realizaron actividades de servicio que ayudaron a la mejora del Laboratorio de Control de Calidad.
- El Laboratorio posee una buena confiabilidad y su personal una eficiente competencia en cuanto a técnicas de laboratorio se refiere.

6. Recomendaciones:

- Al medir con la bureta de vidrio, se debe cuidar la velocidad con que se vacía ya que puede perderse líquido en las paredes.
- Debe clasificarse los reactivos de la bodega, se sugiere utilizar, riesgo de estos. Y separar los más peligrosos y tenerlos bajo llave.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

**QUEMABILIDAD DE DIFERENTES MEZCLAS DE HARINA CRUDA CON
ADITIVOS.
QUEMABILIDAD DE HARINA CRUDA EN LAS TRES LÍNEAS DE
PRODUCCIÓN**

Informe Final de Investigación

Presentado por:

Mario Manuel Rodas Morán

Estudiante de la Carrera de:
Química

Guatemala, Febrero de 2006.

INDICE

1. RESUMEN	15
2. INTRODUCCIÓN	16
3. MARCO TEORICO	17
3.1. CEMENTO PÓRTLAND	17
3.2. PREPARACIÓN DE CLINKER	18
4. OBJETIVOS	20
5. HIPÓTESIS	21
6. JUSTIFICACIONES	22
7. MATERIALES Y METODOS	23
8. RESULTADOS	28
9. DISCUSION	34
10. CONCLUSIONES	36
11. RECOMENDACIONES	37
12. REFERENCIAS	38
13. ANEXOS	39

I. RESUMEN

Durante un tiempo de un mes y dos semanas se realizó (meses de Agosto, Septiembre de 2005), en el Laboratorio Químico de la Planta San Miguel de Cementos Progreso S.A., en Sanarate, El Progreso, un estudio de quemabilidad que abarcó el uso de aditivos, muestras para optimización y muestras en las tres líneas de producción de la planta.

Para realizar el estudio se aplicaron los modelos técnicos de quemabilidad: el factor LSF, MS, se calculan por medio de rayos X, el factor T_{125} y A_{45} , se calculan por finezas vía húmeda. Con los resultados del modelo utilizado, se determinó la viabilidad de diferentes aditivos, y si estos afectaban (ya sea positiva o negativamente) la formación de Clinker.

Además se utilizó dicho modelo para conocer el aporte de cada factor, en la quemabilidad de muestras para optimización, en las cuales se determinó que el aporte mayoritario era la fineza del material, ya que a mayor fineza, mayor es el área de contacto, por lo que existe una probabilidad más alta de que reaccionen los componentes de la harina cruda.

Con el modelo se determinó la quemabilidad en la harina cruda de los alimentadores de hornos en las líneas de producción, proporcionando información acerca de diferencias de molienda entre líneas de producción, y calidad de materias primas, procedentes de cantera.

A todas las muestras, se les aplicó una prueba de quemabilidad a 1400°C , quemando la muestra, para luego medir el óxido de calcio (CaO) remanente, conocido como cal libre, con esto se obtiene una idea de la buena, moderada o pobre quemabilidad de una harina cruda.

II. INTRODUCCION

En Cementos Progreso S.A, no se realizan de rutina análisis de quemabilidad en harina cruda de alimentadores, por lo que en el presente informe se exponen los resultados y conclusiones a los que se ha llegado después de realizar un estudio de quemabilidad en distintas fases de la producción de cemento en la planta.

La quemabilidad de una harina cruda, se define como la fácil transformación de ésta a Clincker mineral. Esta se expresa como el contenido de cal no combinada o remanente (LCaO) en el clinker después de su cocimiento bajo condiciones dadas.

Se dice que el clinker es el “corazón de la industria cementera” ya que es el componente principal del cemento. Este se logra por el cocimiento en un horno horizontal rotatorio de una mezcla de caliza y esquisto, los cuales son componentes minerales que poseen en su mayoría carbonato de calcio, cuarzo y silicatos de aluminio y hierro, entre otros. Luego de una pre-quema, estos se encuentran en su forma oxidada.

Luego de un enfriamiento rápido el clinker es molido y junto con otros aditivos forma el cemento tipo Portland, este cemento es de alta calidad, gracias a los minerales del clinker formados durante el cocimiento, para lo cual es importante realizar periódicamente estudios de quemabilidad.

Una quemabilidad óptima, se puede encontrar gracias a los parámetros expuestos en los modelos teóricos de la quemabilidad, tanto químicos: LSF (índice de saturación de Cal) y MS (Módulo de Sílice), como físicos: T125 (residuo de calcita mayor a 125 μm) y A45 (residuo insoluble en ácido acético menor a 45 μm), con la información que estos parámetros dan, es posible realizar cambios para la optimización de molienda y de química de las materias primas.

Por lo regular los cambios que se pueden realizar son en la finura de la harina cruda que va al horno, ya que la quemabilidad determina las porciones de tamaño mayor de caliza y cuarzo que a su vez difícilmente se queman.

III. MARCO TEÓRICO

1. CEMENTO PORTLAND:

El término cemento Portland, fue dado de manera reconocida en 1824 cuando José Aspidin registró la primera patente de fabricación de cemento. La composición del cemento fue guardada en secreto y se le dio este nombre ya que era tan sólido y durable como la piedra de construcción Portland (2).

Para principios del siglo XX, la manufactura de cemento era común, pero era mucho más artesanal y no una ciencia. Es decir, se le daba mayor importancia a la manufactura en bruto, que al control de calidad. A mediados del siglo XX, muchos científicos se interesaron en la producción de cemento, incorporando reglas de fase y principios de equilibrio químico.

En 1904 tuvo lugar el primer foro acerca de estándares ASTM para cemento, para lo cual fue establecido en el año de 1907 el Laboratorio Geofísico de Carnegie, instituto que dio lugar al comienzo de la extensiva investigación de la química del cemento, avances que resultaron en el desarrollo y uniformidad en la industria cementera.

La química analítica también tuvo que aportar su granito de arena a la industria cementera, gracias a los novedosos avances en este ámbito, como las técnicas de Cristalografía de Rayos X, Microscopía Electrónica, Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear, Espectroscopía de Mössbauer, Espectroscopía Infrarroja y Análisis Termal. Con ello los científicos buscaban entender de una mejor forma las propiedades del cemento, la formación y corrosión del cemento, además, se aprovechó este conocimiento para mejorar la calidad y resistencia.

2. Preparación de Clinker:

Los materiales molidos y mezclados (Caliza, Esquisto, aditivo F y otros aditivos) en las proporciones requeridas, son calentados a temperaturas altas, usualmente con rotación. Al calentar lo primero que se pierde es CO_2 y H_2O , luego en el horno se producen reacciones entre los sólidos, incluyendo los parcialmente fundidos.

Al enfriar estos sólidos se obtiene lo que se denomina clinker, el cual es esencial para elaborar un buen cemento a partir de la calidad del clinker. Químicamente hablando, se requieren de tres elementos para la elaboración de un buen cemento: óxido de calcio, silicio y aluminio. Con la combinación apropiada de estos elementos se logra encontrar la cantidad óptima para la producción de cemento tipo Portland.

La alta calidad del Clinker requiere la presencia de dos componentes mayoritarios que son, el silicato tricálcico (C_3S) y silicato dicálcico (C_2S), estos materiales reaccionan fuertemente con el agua formando la pasta del cemento, formada, obviamente con el producto final.

La temperatura es sumamente importante en la formación del clinker ya que si la temperatura es baja, el C_3S , se forma de manera sumamente lenta, ya que es una reacción en fase sólida, por lo que se requiere de un fundente (CaF_2). En la mezcla juega un papel importante el aluminio (alcali), por lo que estos ayudan a la fácil quemabilidad de la harina cruda, para transformarlo en clinker, que es rico en C_3S .

La idea de cuantificar la heterogeneidad de la harina cruda en el análisis químico de las diferentes fracciones de tamaño y relacionarlo al comportamiento de sinterización fue aplicada por Dreizler y Schafer en 1990 y adoptado por Johansen en su estudio de la quemabilidad presentado en el 2000, tomando en cuenta los parámetros químicos LSF, MS, la presencia de calcita gruesa mayor a 125 micrones, partículas de cuarzo mayores de 45 micrones y partículas mayores de 45 micrones que no sean de cuarzo.

La quemabilidad está en función de la composición química, de la mineralogía y de la fineza de los componentes.

$$\%CaO = F(\text{composición química, fineza, mineralogía})$$

Una forma conveniente de caracterizar la composición química de la harina cruda es utilizando LSF y MS.

En donde:

LSF: índice de saturación de cal.

Eq. 1

$$\frac{\text{CaO}}{2.8SiO_2 + 1.2Al_2O_3 + .65Fe_2O_3} \times 100$$

MS: módulo de sílice.

Eq. 2

$$\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

En donde los valores de los óxidos están expresados en porcentaje de peso en peso.

Como resultado de las diferencias en la granulometría (distribución del tamaño de las partículas) de los materiales crudos, la composición química de las diferentes fracciones de tamaños de la harina cruda puede ser diferente.(2)

IV. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, la industria del cemento alcanza ya un fuerte impacto en la vida económica del país ya que se ha visto incrementada la venta y exportación de productos que esta línea de producción abarca, por lo que generar investigación es sumamente necesario, para mejorar la calidad tanto de los productos como mejorar la eficiencia de los procesos.

El generar conocimiento nuevo, que permita conocer el comportamiento de la quemabilidad (y los factores que lo ocasionan) en la harina cruda, ayuda a entender como optimizar la producción, bajar costos y mejorar rendimientos.

El monitorear la quemabilidad de las líneas de producción, genera información valiosa, que ayuda a tener una idea de la calidad de harina cruda que se está generando en la planta San Miguel, de Cementos Progreso S.A., con ello se pueden encontrar puntos óptimos de quemabilidad.

Al probar la quemabilidad de la Harina Cruda con otros aditivos, se logra establecer la viabilidad de los mismos para ser utilizados en la producción de cemento, y encontrar el impacto (tanto negativo como positivo) de este material aditivo en la formación de clinker. Estos estudios por lo general, tienen un impacto económico y ambiental positivo, debido a que implican soluciones y mejoras, como la reutilización de los desechos (cenizas, escorias, etc.) y evitan así su descarga al ambiente.

Al tener un estudio serio de quemabilidad, se logran elaborar propuestas para la mejora continua de la producción de harina cruda, por lo que es útil llevar a cabo estudios de optimización basándose en la quemabilidad de la harina cruda.

V. HIPÓTESIS

No existe diferencia significativa entre la harina cruda, sin aditivo y la harina cruda con aditivo, en cuanto a la quemabilidad, teniendo en cuenta una química y fineza similar.

VI OBJETIVOS

Objetivos General:

1. Determinar la viabilidad de utilizar aditivos (Fly Ash, Escoria y Toba) mediante un estudio de quemabilidad de la harina cruda.
2. Determinar el aporte de diferentes parámetros de la quemabilidad a muestras para optimización de la producción de cemento.
3. Determinar la quemabilidad en las tres líneas de producción de cemento de la Planta San Miguel.

Objetivos Específicos:

1. Generar información que permita realizar mejoras al método de quemabilidad.
2. Medir la exactitud del método, operador y laboratorio para la prueba de quemabilidad, en Planta San Miguel.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

UNIVERSO:

Harina cruda de los alimentadores de la planta San Miguel de Cementos Progreso S.A..

MUESTRA:

500 g de Harina Cruda, en períodos de 8 horas de las tres líneas de producción.

500 g de Harina Cruda, compuesta por el 1% de dos aditivos a probar, Fly Ash y Toba, mezclada en un cuarteador mecánico.

500 g de Harina Cruda, de distintos puntos de muestreo para pruebas de optimización.

MUESTREO:

Automático, a través de muestreadores, y manualmente

SELECCIÓN DE MUESTRA:

al azar.

MEDIOS:

a) Humanos:

Estudiante: Mario Manuel Rodas Morán

Asesores:

Lic. Luis Velásquez
Lic. Edgar Saúl Loaiza.

Colaboradores:

Br. José Alvarez, Br. Danilo Herrera, Br. Fernando Carías, Br. Rolando Ruano, Br. Wenceslao Estrada, Br. Gustavo Pérez, Br. Rony Fajardo, Br. Armando Morales, Br. Mynor Martínez, Br. Renato de la Roca, Br. Luis Escobar, Br. Anibal Molina, Br. Julio Rodríguez y Br. Mario López.(personal técnico y profesional de Laboratorio Químico)

b) Institucionales:

Cementos Progreso S.A.

MATERIALES:

a. Equipo:

- Equipo de Fluorescencia de Rayos X.
- Mufla Thermoline.
- Tamices 45 μm y 125 μm .

- Agitador magnético.
- Bureta automática.
- Molino de discos Hertzog.
- Soportes de metal.
- Crisol de platino/oro de 25 ml.
- Molde de platino/oro de 30 mm de diámetro.
- Recipiente de vidrio de 10 ml de capacidad.
- Potenciómetro.
- Electrodo selectivo para Flúor.

b. Cristalería.

- Beakers de 500 ml.
- Erlenmeyer de 250 ml.
- Beakers de 250 ml.
- Vidrios de reloj.
- Agitadores de vidrio.
- Cristalería de polietileno.

d. Reactivos.

- Etilenglicol.
- Acido acético.
- Acetato de amonio.
- Fenolftaleína.
- Etanol.
- Metaborato de litio. (Flux)
- Yoduro de potasio.
- Solución pH.
- TISAH IV.
- Solución de Flúor 25 ppm.

METODOS:

FLÚOR:

Se aplicó el método detallado por Fausto Cano (2), para la determinación cuantitativa de flúor.

LSF y MS.

Para este método se pesa 1.53 g de harina cruda, y el Flux de acuerdo a su pérdida al fuego, utilizando una relación de Flux : muestra igual a 5 : 1. Se mezcla y se homogeniza en un frasco de vidrio, luego se agregan dos gotas de una solución de yoduro de potasio al 10 % al crisol, distribuyéndolo completamente y agregándolo al material. El crisol se introduce en la mufla a una temperatura de 1100°C durante 3 minutos, después de 5 minutos se introduce el

molde dentro de la mufla y en el minuto 7 se agrega el material fundido dentro del molde. Se enfría la pastilla y se analiza en el programa correspondiente (QCX). Los resultados son reportados en porcentaje p/p y se calculan los valores LSF Y Ms.

FINEZA T125:

colocar 5 g de harina cruda seca en el tamiz y lavar con agua. Abrir la llave del chorro para que la velocidad del agua sea constante, graduando de tal manera que no produzca perdidas de material por salpicaduras. Continuar lavando durante 3 minutos exactos. Secar el residuo en el tamiz a una temperatura de 110°C durante 20 minutos en un horno. Enfriar el tamiz; luego con una brocha de cerdas suaves remover el residuo del tamiz y pesarlo en una balanza con una exactitud de 0.0001 g.

Calcular el porcentaje de residuo retenido, basado en el peso original del material, de la siguiente forma:

$$T_{125} = \frac{Pr}{Pm} * F$$

En donde

T_{125} = porcentaje de retenido en 125 micrones.

Pr = peso del residuo.

Pm = peso de la muestra y

F = factor del Tamiz utilizado. (121.25)

FINEZA A45

pesar 5 g de harina cruda seca. Transferir la muestra a un erlenmeyer de 250 ml y agregar 50 ml de agua y 50 ml de ácido acético glacial (100%). Calentar la mezcla en una estufa Corning a 80°C hasta que no se observen burbujas (aproximadamente 4 horas). Pasar todo el material al tamiz de 45 micrones. Lavar, moviendo el tamiz de forma circular, con agua del lavadero. Mantener la velocidad del agua constante y evitar que se produzcan perdidas de material por salpicaduras, durante 2 minutos exactos. Secar la muestra a 110°C durante 20 minutos. Enfriar el tamiz; luego con una brocha de cerdas suaves remover el residuo del tamiz y pesarlo en una balanza con una exactitud de 0.0001 g.

el retenido se calcula de la siguiente manera:

$$A_{45} = \frac{Pr}{Pm} * F$$

A_{45} = porcentaje del residuo ácido-insoluble en 45 micrones.

Pr = peso del residuo.

Pm = peso de la muestra y

F = factor del Tamiz utilizado. (167.65)

MODELO DE QUEMABILIDAD SM:

Este modelo es útil para el cálculo de la Cal libre contenida en la harina cruda que se espera como resultado de la ya arriba mencionada prueba de quemabilidad, la quemabilidad está en función de parámetros químicos y físicos (finezas), los cuales son: el índice de saturación de cal (LSF), el módulo de sílice (MS), el porcentaje de residuo de calcita mayor a 125 μm (T_{125}), el residuo de cuarzo (residuo insoluble luego de digestión de ácido acético al 50%) mayor a 45 μm (A_{45}). La quemabilidad se calcula de acuerdo al modelo aplicado por Cano Tello (2).

El coeficiente de esta fórmula es derivada de un análisis múltiple de regresión y puede realizar proyecciones teóricas sobre la posibilidad de diferenciación entre la influencia química (LSF y MS) y la fineza sobre la Cal libre contenida, esta información es útil para obtener una efectiva optimización de la harina cruda con el uso de estos parámetros.

PRUEBA DE QUEMABILIDAD:

Con una muestra de 2 g de harina cruda, se preparan pastillas de 10 mm de diámetro y 5mm de alto agregando una cantidad suficiente de alcohol para formar una pasta, la cual se coloca en una prensa marca Parr, para formar la pastilla. Ésta pastilla se seca a 60 grados centígrados por 20 minutos. Se quema en un recipiente de material refractario a 1400 grados centígrados durante 60 minutos, se enfría rápidamente. La cal libre se determina acorde al método con acetato de amonio/etilenglicol, ASTM C114.

CAL LIBRE EN CLINKER. MÉTODO CON ACETATO DE AMONIO/ETILENGLICOL, ASTM C114.

En los ensayos con clinker, el parámetro principal que indica que la reacción de clinkerización se ha llevado a cabo, es la cantidad de óxido de calcio o cal libre, la cual se determina de la siguiente manera:

Debe molerse durante 2 minutos y agregarle 50 ml de etilenglicol (calentado a 80°C) y 2 ml de fenolftaleína al 0.1%, calentando y agitando la solución. Luego se titula con una solución valorada de acetato de amonio hasta observar un cambio de color (rosa a gris).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico consistió en medir el coeficiente de variación en los porcentajes que presente el método de quemabilidad.

Para el análisis de resultados y poder tener conclusiones validas se encontraron diferencias cuantificables entre los datos de quemabilidad de diferentes aditivos por lo que se plantean las siguientes variables estadísticas:

$$H_i \equiv X_1 = X_2 = X_3$$

$$H_0 \equiv X_1 \neq X_2 \neq X_3$$

Donde: X_1 se define como quemabilidad de Harina Cruda sin aditivo.

X_2 se define como quemabilidad de Harina Cruda con A.

X_3 se define como quemabilidad de Harina Cruda con B.

VIII. RESULTADOS

Los resultados monitoreados en las líneas de producción se presentan en la tabla 1, 2 y 3

Tabla 1
Quemabilidad en la Línea A

Muestra	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%PF	LSF	MS	%A45	%T125	%LcaO
17-08-05	13.81	3.2	2.07	43.92	1.38	34.15	100.21	2.63	12.91	10.14	5.50
19-0805	14.17	3.47	2.19	43.6	1.48	34.48	96.46	2.51	12.74	11.56	4.29
22-0805	13.9	3.29	2.2	44.11	1.46	34.31	99.71	2.53	13.55	11.46	5.58
23-0805	13.92	3.37	2.22	43.91	1.47	34.15	98.93	2.49	10.31	7.3	4.23
25-08-05	13.63	3.5	2.3	44.19	1.4	34.22	100.93	2.35	8.1	7.76	4.00
29-0805	13.89	3.27	2.03	43.76	1.18	34.46	99.31	2.62	11.24	10.18	5.19

Tabla 2
Quemabilidad en la Línea B

Fecha	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%PF	LSF	MS	%A45	%T125	%LcaO
17-0805	13.78	3.21	2.01	44.66	1.23	34.81	102.27	2.64	12.22	11.51	5.78
19-0805	13.94	3.28	2.06	43.91	1.36	34.53	99.27	2.61	12.15	11.71	5.24
22-0805	13.7	3.19	2.09	43.82	1.48	34.33	100.77	2.6	11.12	11.54	5.20
23-0805	13.93	3.26	2.12	44.17	1.35	34.82	99.91	2.59	12.06	11.9	5.26
25-08-05	13.44	3.36	2.03	43.03	1.3	35.08	100.25	2.49	10.64	10.81	4.55
29-0805	14.02	3.14	1.92	44.25	1.32	34.54	100.11	2.77	11.89	12.23	5.62

Tabla 3
Quemabilidad en la Línea C

Fecha	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%PF	LSF	MS	%A45	%T125	%LcaO
17-0805	14.02	3.04	2.11	43.45	1.6	34.82	98.26	2.72	12.94	11.6	10.36
19-0805	14.11	3.04	2.18	43.2	1.45	34.21	97.05	2.7	12.28	8.81	9.66
22-0805	13.98	3.13	2.08	44	1.35	34.44	99.61	2.68	11.4	8.64	9.77
23-0805	13.77	3.16	2.04	43.78	1.34	34.81	100.39	2.65	11.22	7.86	9.67
25-08-05	13.71	3.12	2.01	43.49	1.29	34.9	100.28	2.67	11.4	8.16	9.61
26-0805	13.79	3.09	2.03	44.07	1.28	35.02	101.16	2.7	12.43	8.23	10.93
29-0805	13.94	3.36	2.06	44.43	1.22	35.12	100.24	2.57	11.97	9.15	9.94

En las tablas 4, 5 y 6 se muestra el Aporte de cada factor a la quemabilidad.

Tabla 4
Aporte a la Quemabilidad en la Línea A

Fecha	Hora	LSF apte	MS	%A45	%T125
17-08-05	9-16HRS	0.942777	1.120722	3.33078	0.820326
19-0805	9-16HRS	-0.1586	0.990153	3.28692	0.935204
22-0805	9-16HRS	0.795927	1.011914	3.4959	0.927114

23-0805	9-16HRS	0.566841	0.968391	2.65998	0.59057
25-08-05	9-16HRS	1.154241	0.81606	2.0898	0.627784
29-0805	9-16HRS	0.678447	1.109842	2.89992	0.823562
PROMEDIO 461		0.663273	1.002847	2.96055	0.787427
DESV. STD 461		0.452055	0.111052	0.525816	0.146954
CV 461		68.15531	11.07364	17.76075	18.66254

Tabla 5
Aporte de la Quemabilidad en la Línea B

Fecha	hora	%LSF	%MS	%A45	%T125
17-0805	9-16HRS	1.55	1.13	3.01	1.05
19-0805	9-16HRS	0.67	1.09	2.99	1.06
22-0805	9-16HRS	1.11	1.08	2.74	1.05
23-0805	9-16HRS	0.85	1.07	2.97	1.08
25-08-05	9-16HRS	0.95	0.96	2.62	0.98
29-0805	9-16HRS	0.91	1.27	2.92	1.11
PROMEDIO 462		1.006362	1.102168	2.87328	1.05549
DESV. STD 462		0.300703	0.098329	0.159282	0.043254
CV 462		29.88018	8.921407	5.543557	4.098019

Tabla 6
Aporte de la Quemabilidad en la Línea C

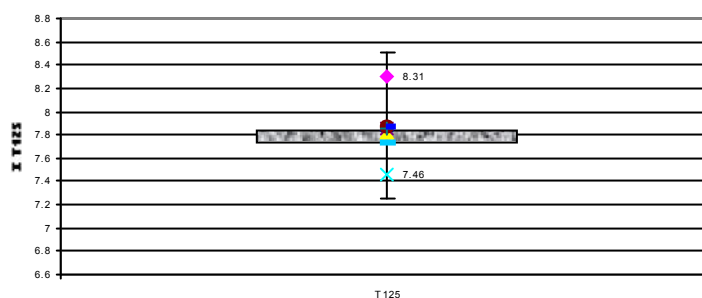
Fecha	hora	%LSF	%MS	%A45	%T125
17-0805	9-16HRS	0.07	2.98	7.83	0.62
19-0805	9-16HRS	-0.25	2.93	7.43	0.47
22-0805	9-16HRS	0.42	2.87	6.90	0.46
23-0805	9-16HRS	0.63	2.79	6.79	0.42
25-08-05	9-16HRS	0.60	2.85	6.90	0.44
26-0805	9-16HRS	0.83	2.93	7.52	0.44
29-0805	9-16HRS	0.59	2.58	7.24	0.49
PROMEDIO 463		0.41	2.85	7.23	0.48
DESV. STD 463		0.37	0.13	0.39	0.07
CV463		90.91	4.64	5.36	14.11

En la Tabla 7, se muestra resultados de un estudio de Precisión del método, utilizando una misma muestra (Alimentador 63, fecha 26/08/05) con nueve repeticiones, para conocer la incertidumbre que presentaban los resultados analizados anterior y posteriormente.

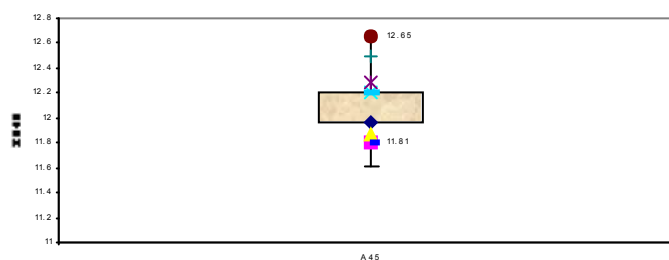
Tabla 7
Estudio de Precisión

muestra	T125	A45	Pérdida al fuego	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	%CaO	% MgO	LSF	MS	LcaO
Promedio	7.85	12.14	35.02	13.79	3.09	2.03	44.07	1.28	101.16	2.70	10.75
Desviación Std	0.22	0.31	0.08	0.25	0.10	0.02	0.58	0.05	0.94	0.04	0.39
C.V.	2.78	2.52	0.24	1.80	3.26	1.13	1.31	3.78	0.93	1.56	3.60

Gráfica 4: DISPERSION DE DATOS T125



Gráfica 5: DISPERSION A45



En la Tabla 8, se observa la quemabilidad de una muestra de Harina cruda contra Puzzolana y Fly Ash, así como el análisis químico de estos.

TABLA 8: QUEMABILIDAD EN ADITIVOS

Identificación del material	A + HC63 (1:99)	B + HC63 (1:99)	HC63	B	A
Fecha muestreo	9/14/2005	9/14/2005	8/26/2005	8/27/2005	8/28/2005
SiO ₂	14.25	14.35	13.79	72.09	61.4
Al ₂ O ₃	3.37	3.29	3.09	14.47	21.12
Fe ₂ O ₃	2.11	2.04	2.03	2.48	8.55
CaO	43.73	43.46	44.07	2.46	3.13
MgO	1.33	1.31	1.28	0.01	1.38
SO ₃	0.05	0.12	0.04	0.01	0.47
K ₂ O	0.39	0.42	0.38	3.31	1.6
Na ₂ O	0.16	0.23	0.14	4.24	0.62
PF	34.41	34.71	35	2.73	11.7

LSF	96.65	95.76	101.16		
MS	2.6	2.69	2.7		
MA	1.59	1.61	1.54		

finezas (% retenido)

%T125	8.15	8.30	7.86	8.25	
%A45	12.04	12.16	12.14	21.4	
FINEZA 70 (210um)	1.12	1.14	1.12	0.14	
FINEZA 170 (90um)	9.12	8.60	8.54	8.46	

LCaO en prueba de Quemabilidad	10.20	9.80	11.20		
--------------------------------	-------	------	-------	--	--

Modelo fisicoquímico de quemabilidad (%LCaO)

LSF	-0.35	-0.40	0.98		
MS	2.66	2.78	2.79		
A45	7.10	7.34	7.30		
T125	0.44	0.46	0.40		
% LCaO total	9.56	9.68	10.99	0.00	0.00

Clasificación de quemabilidad	MODERADA	MODERADA	MODERADA		
--------------------------------------	-----------------	-----------------	-----------------	--	--

En la Tabla 9, se observa la quemabilidad de distintas muestras de Harina Cruda, tomadas por el personal profesional del Departamento de Optimización y Medio Ambiente de la Planta.

TABLA 9: QUEMABILIDAD EN ALIMENTADOR A HORNO

Identificación del material	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D
Fecha muestreo	9/5/2005	9/5/2005	8/26/2005	8/26/2005
SIO2	13.76	13.97	13.83	13.86
AL2O3	3.13	3.08	3.15	3.07
FE2O3	2.04	2.05	2.04	2.03
CAO	44.24	44.42	44.22	43.88
MgO	1.32	1.28	1.3	1.28
SO3	0.07	0.04	0.04	0.03
K2O	0.37	0.38	0.38	0.38
Na2O	0.15	0.15	0.15	0.15
PF	34.87	34.52	34.8	34.8
LSF	101.59	100.75	101.02	100.29
MS	2.66	2.72	2.66	2.72
MA	1.53	1.5	1.54	1.51

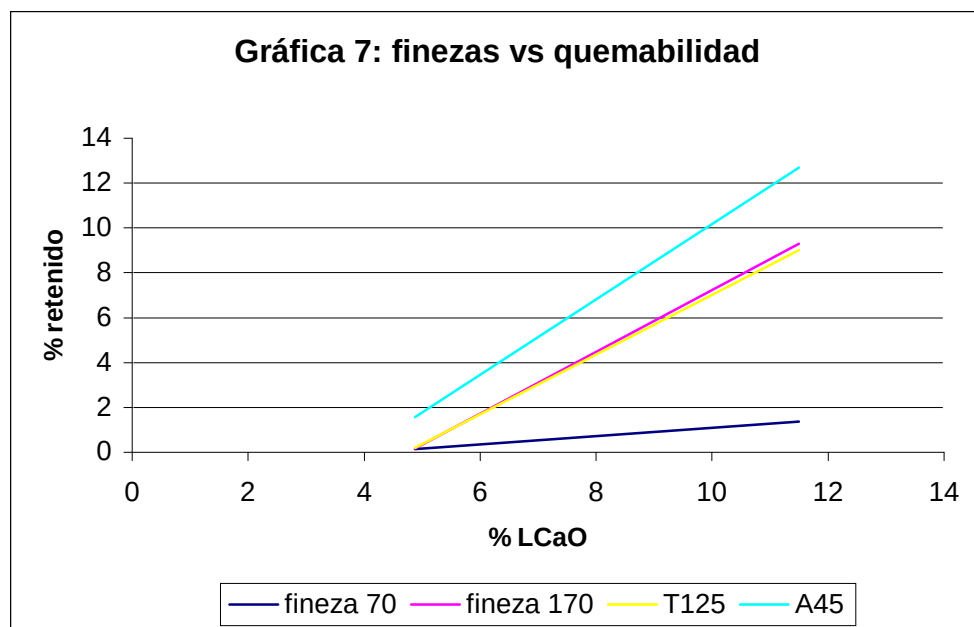
finezas (% retenido)				
%T125	7.48	8.63	8.56	8.82
%A45	12.55	12.13	11.97	11.94
FINEZA 70 (210um)	0.66	1.36	1.48	1.16
FINEZA 170 (90um)	8.84	9.22	9.02	9.00
LCaO en prueba de Quemabilidad	9.45	9.08	8.92	8.66
Modelo fisicoquímico de quemabilidad (%LCaO)				
LSF	0.94	0.72	0.79	0.60
MS	2.82	2.98	2.82	2.98
A45	7.59	7.34	7.24	7.23
T125	0.40	0.46	0.46	0.47
% LCaO total	10.97	10.65	10.50	10.46
Clasificación de quemabilidad	MODERADA	MODERADA	MODERADA	MODERADA

En la Tabla 10 se muestra Harina Cruda a la cual se le minimizó, el aporte de las finezas T125 y A45, moliendo el retenido de un tamiz 320 de 100 gramos de Harina Cruda.

Tabla 10: Quemabilidad Minimizando el Aporte de Parámetros Físicos.

Identificación del material	HARINA CRUDA A	HARINA FINA A
Fecha muestreo	9/29/2005	9/29/2005
SIO2	14.27	14.21
AL2O3	3.25	3.26
FE2O3	1.76	1.78
CAO	44.32	44.02
MgO	1.25	1.23
SO3	0.03	0.04
K2O	0.4	0.4
Na2O	0.15	0.16
PF	34.9	34.9
LSF	98.64	98.28
MS	2.85	2.82
MA	1.85	1.83
finezas (% retenido)		
%T125	9.00	0.19
%A45	12.69	1.56
FINEZA 70 (210um)	1.38	0.14
FINEZA 170 (90um)	9.30	0.18

LCaO en prueba de Quemabilidad(1400°C)	11.50	4.88
Modelo fisicoquímico de quemabilidad (%LCaO)		
LSF	0.17	0.16
MS	3.33	2.78
A45	7.68	0.94
T125	0.48	0.01
% LCaO total	10.77	3.44
Clasificación de quemabilidad	MODERADA	BUENA



XI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El modelo utilizado, fue elaborado por el Lic. Fausto Cano, quien encontró condiciones óptimas para efectuar el análisis de la quemabilidad en la harina cruda, condiciones, tiempos, etc, por lo que el análisis es reproducible.

Para ello se muestra en la tabla 7 un análisis de precisión, que muestra el grado de concordancia entre los valores de una serie repetida de ensayos, para ello se utilizó una misma muestra, bajo las condiciones establecidas por el método. La precisión puede ser considerada a tres niveles: repetibilidad, precisión intermedia y reproducibilidad. Dicho de otra forma, es la distribución de los valores analíticos alrededor de la media, que puede ser expresada en términos de varianza, desviación estándar o coeficiente de variación. (parámetros de dispersión)

Como se muestra en el estudio hay poca dispersión de los datos, ya que para los valores que se calculan, el coeficiente de variación debe encontrarse entre 1-4, lo cual se hace notar en la tabla 7, no hay una diferencia considerable para dudar de la repetibilidad como de la reproducibilidad del método, como se realiza en la Planta San Miguel.

En la tabla 1,2 y 3, se muestra un resumen de parámetros químicos y físicos de la producción los cuales no muestran diferencias significativas en los promedios de producción, tanto en molienda, como en parámetros químicos (LSF y MS), sin embargo sí lo hay en el coeficiente de variación, ya que hay diferencias entre días, por lo que la molienda no es constante, esto es lógico debido a que no siempre se cuenta con la misma calidad de materia prima, o con los mismos requerimientos, pero por lo general no existe diferencia apreciable entre las tres líneas; todo parece indicar que se tiene la misma calidad de producto final.

En la tabla 4,5 y 6, es el aporte porcentual de cada parámetro a la quemabilidad, lo cual es importante cuando se desea conocer cómo afectan estos a la quemabilidad total, según el modelo para la quemabilidad utilizado por Fausto Cano, se hace notar que el parámetro que más aporta a la quemabilidad es el factor A45, que es el residuo insoluble en ácido acético mayor a 45 μm , el cual es importante para la formación del C_3S (Silicato tri-cálcico), que compone una buena parte del clinker, por lo que tampoco es de extrañar que sea el factor MS (módulo de sílice) el que le sigue en aporte, ya que estos dos son los que nos dan una idea de la probabilidad que tiene la sílice de reaccionar para formar el C_3S .

Esta idea fue confirmada cuando se calculó la quemabilidad de unas muestras proporcionadas por el departamento de optimización y medio ambiente de la Planta San Miguel Cementos Progreso S.A. Los resultados se pueden visualizar en la tabla 9 ya que este tipo de muestras son utilizadas para proyectos de optimización y se observa que el mayor aporte es el factor A45, lo cual hace pensar, que éste es el parámetro crítico para la quemabilidad de la harina cruda, por lo que se propuso lograr una fineza mayor, ya que “a mayor

fineza mayor superficie de contacto, y a mayor superficie de contacto es mayor la posibilidad de reacción”.

Lo anterior se ve reflejado en la tabla 10, donde se trabaja con una misma harina cruda, pero se tomó de esta 100 g, la cual se molió buscando anular los parámetros físicos, y ver cómo era su comportamiento en cuanto a quemabilidad se refiere, lo cual dio resultados sumamente importantes ya que la harina cruda pasó de tener una quemabilidad moderada a una quemabilidad entre muy buena y buena. Es importante tener en cuenta que la quemabilidad, por convención, se da en términos de cal libre, o cal no combinada, por lo que no se sabe si este óxido de calcio presente en la harina cruda se convierte en C_3S , sin embargo se sabe que estos dos parámetros químicos guardan una estrecha relación.

De acuerdo a Cano: “Una molienda insuficiente puede producir una porción indefinida de tamaño de partícula que requiere de mayor combustible para el quemado y, asimismo, una molienda excesivamente fina, a la vez permite bajas temperaturas de clinkerización y una restricción de salida del clinker como resultado del incremento de la pérdida del polvo o reciclaje del mismo dentro del sistema, así como aglomeraciones en el sistema que pueden ocasionar paradas indeseables” (2). Por lo que se debería buscar el óptimo para la buena producción de cemento tipo Portland.

En la Gráfica 7 se muestra que a menor finura, menor será el contenido de cal libre, además que se denota una probable correlación que puede existir entre la fineza 170 y el parámetro T_{125} , esto es sumamente importante ya que la fineza 170 es un procedimiento de rutina, por lo que se puede tener una idea de la quemabilidad antes que la harina cruda entre al horno. Lo ideal es encontrar la correlación entre estas finezas de rutina y el residuo insoluble en ácido mayor a 45 micrones (A_{45}).

Por último en la tabla 8, se tiene un estudio del comportamiento de la quemabilidad con diferentes aditivos (A y B). Estos denotan que hay poca diferencia entre la quemabilidad de ambas muestras de harina cruda, preparadas con aditivos y la muestra de harina cruda sin aditivos, por lo que es posible que no se encuentre diferencia en el momento de agregarlo a nivel macro en la planta.

X. CONCLUSIONES

1. Los datos de precisión pueden tenerse como confiables, para el análisis de quemabilidad en la planta San Miguel. ya que el método cuenta con repetibilidad y reproducibilidad.
2. El porcentaje de aporte a la quemabilidad en las muestras estudiadas, no presenta diferencias significativas entre ellas.
3. El aporte mayoritario a la quemabilidad está dado por el parámetro que proviene del residuo insoluble en ácido mayor a 45 μm (A_{45}).
4. Existe gran probabilidad, que al aumentar la finura de la harina cruda, disminuya la cantidad de Cal libre en el clinker.
5. No existe diferencia evidente en cuanto a la cantidad de cal libre formada en el clinker, al utilizar aditivos como A y B.

XI. RECOMENDACIONES

1. Encontrar la correlación entre los parámetros A_{45} y las finezas de rutina con mesh 170 y 70, para lograr incrementar la cantidad de datos que puede proporcionar el laboratorio a Control Central de la planta.
2. Utilizar el método de quemabilidad con otros aditivos que podrían considerarse para futuros proyectos de la planta San Miguel.
3. Es posible optimizar un poco más la molienda ya que es un factor crítico, en especial en el factor A_{45} .
4. Realizar periódicamente estudios de quemabilidad que ayuden a conocer que otros parámetros pueden proporcionar información relevante para la optimización de la fase de producción de clinker.

XII. BIBLIOGRAFÍA

1. MacLaren D. & White M.A. 2003.Cement: Its Chemistry and Properties. Journal of Chemical Education (EEUU) 80 (6): 623 a 634.
2. Cano Tello F. 2001. Desarrollo de un Método para Evaluar en el Laboratorio la Quemabilidad de la Harina Cruda en la Producción de Clinker. Tesis Ad Gradum Escuela de Química Universidad de San Carlos de Guatemala (Guatemala) 52pp.
3. OGA-GEC-016. 2004. Política de Selección y Validación de Métodos de Ensayo. Editado por OGA. (Guatemala) i: 21-23.

XII. ANEXOS

OTRAS INVESTIGACIONES

INVESTIGACIÓN I.
ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

I. ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES:

1. RESUMEN:

En el tiempo comprendido desde septiembre de 2005 a enero de 2006, se realizó un estudio para observar el efecto de superplastificantes, en cemento UGC, para ello se inició con un estudio exploratorio de distintos aditivos (A,B,C,D y E) en diferentes dosis y midiendo como variable respuesta el Flow, se demostró que el aditivo que más reduciría el agua es el aditivo E.

Con este aditivo y el aditivo C, se realizaron pruebas de resistencia y tiempos de fraguado, buscando la relación w/c, dando buenos resultados mostrando una diferencia entre los morteros agregados y el que no contiene aditivo, en especial el aditivo E, este se utilizó para una prueba posterior.

Esta prueba, consiste en agregar un volumen mayor de aditivo E, este mostró a 7 días resultados importantes, y prometedores.

2. Procedimiento experimental

1. Encontrar Relación Agua/Cemento para trabajar, tomando los extremos de volumen a probar y todos los aditivos, en otras palabras, buscar Agua para flow 110 ± 5 .
2. Realizar la mezcla para Mortero, de acuerdo a las normas utilizadas, agregar al agua diferentes volúmenes de aditivos (ver tabla adjunta).
3. Determinar Flow y añadirlo a tabla adjunta para todas las pruebas.
4. Determinar Flow a diferentes tiempos (5', 15' 30')
5. Realizar cubos de 50 * 50 cm. Con el mejor aditivo y mejor ratio de agua, w/c.
6. Medir resistencia mecánica, a estos cubos.

3. Resultados:

Resistencia y otros parámetros físicos				
Aditivo:		Aditivo E.		
Tipo:		Policarboxilatos		
Cemento: Portland Pozzolánico, de Cementos Progreso® Uso General para la Construcción (UGC)				
Arena:		Arena Sílica según normas ASTM		
W/C		0.45		
	0	1	3	7
Resistencia	0	1809	3077	3648
Flow =		114.5		
Expansión =		0.07		
Aditivo:		Aditivo C		

Tipo:		n.d.			

Cemento: Portland Pozzolánico, de Cementos Progreso® Uso General para la Construcción (UGC) Cemento Tipo 2

Arena:		Arena Sílica según normas ASTM			
W/C		0.47			
	0	1	3	7	28
Resistencia	0	1791	2872	3432	4177
Flow =		112.5			
Expansión =		0.07			
Sin aditivo					

Cemento: Portland Pozzolánico, de Cementos Progreso® Uso General para la Construcción (UGC) Cemento Tipo 2

Arena:		Arena Sílica según normas ASTM			
W/C		0.49			
	0	1	3	7	28
Resistencia	0	1416	2343	3042	4039
Flow =		108.5			
Expansión =		0.11			
RI =		17.49			
Aditivo:		Aditivo E			
Tipo:		Policarboxilatos			

Cemento: Portland Pozzolánico, de Cementos Progreso® Uso General para la Construcción (UGC) Cemento Tipo 2

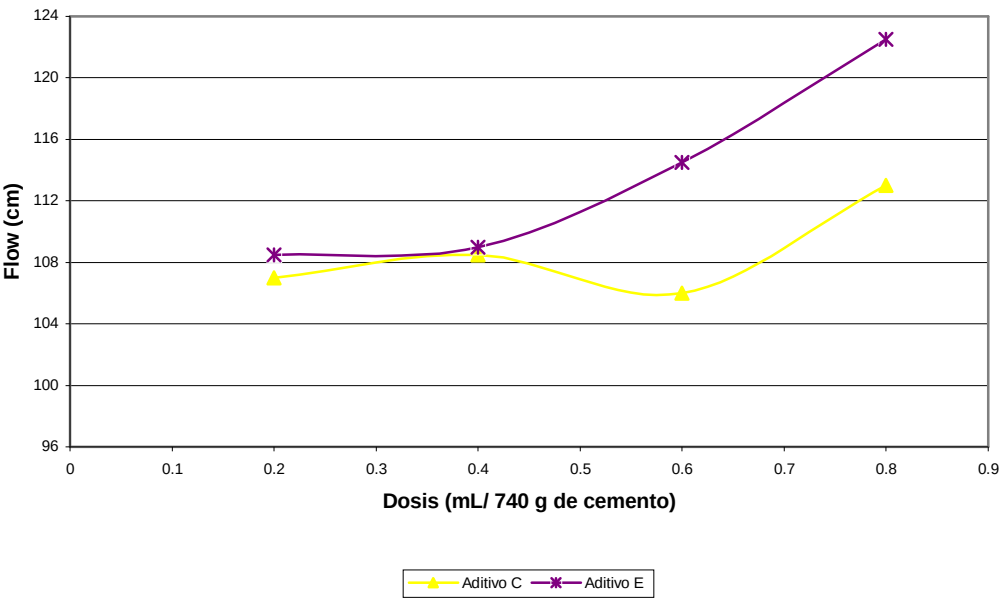
Arena:		Arena Sílica según normas ASTM			
Vol. Aditivo		2 mL			
W/C		0.41			
	0	1	3	7	28
Resistencia	0	2555	3757	4345	5488
Flow =		108			
Expansión =		0.07			
RI =		17.49			
Aditivo:		Aditivo E.			
Tipo:		Policarboxilatos			

Cemento: Portland Pozzolánico, de Cementos Progreso® Uso General para la Construcción (UGC) Cemento Tipo 2

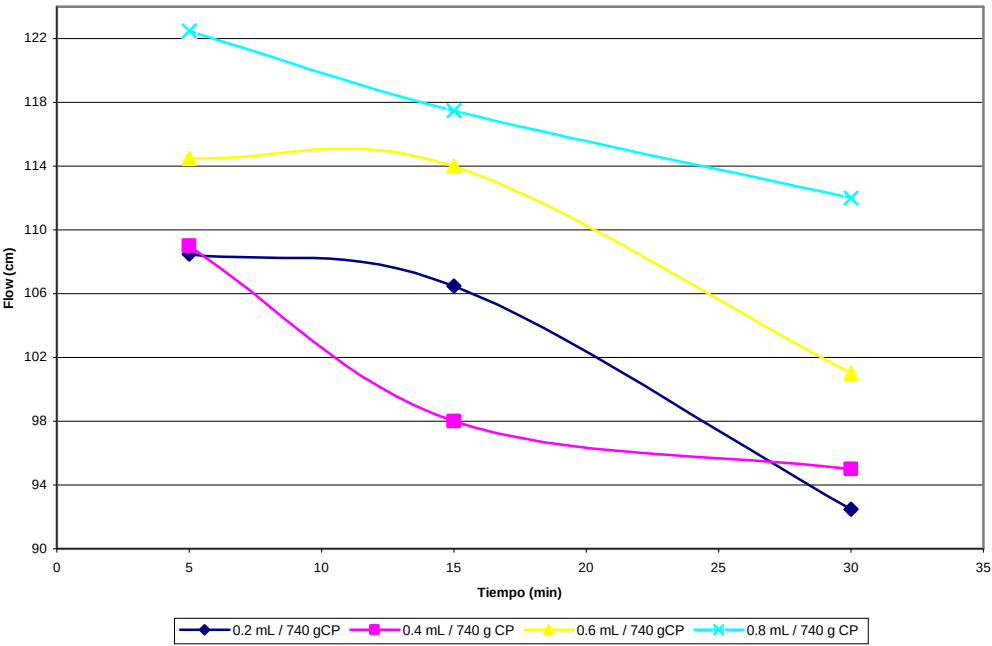
Arena:		Arena Sílica según normas ASTM			
Vol. Aditivo		3 mL			
W/C		0.39			
	0	1	3	7	28
Resistencia	0	2822	4061	4786	6175
Flow =		108			

Expansión =		0.07			
RI =		17.49			

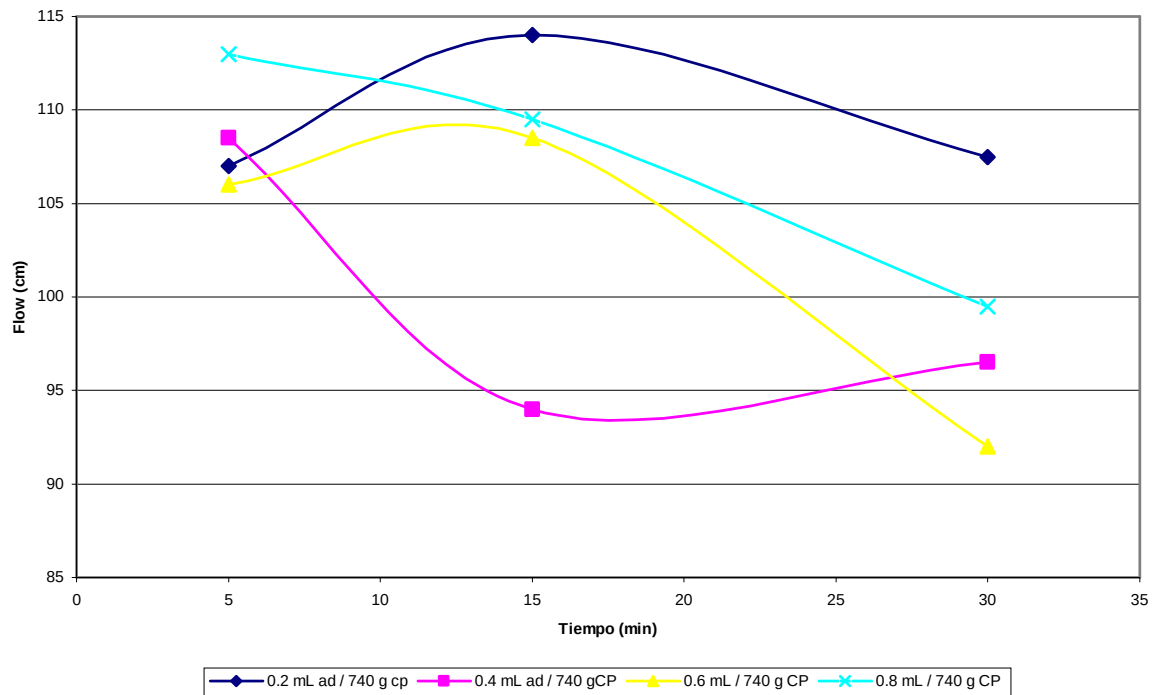
Gráfica 1: Aditivos E y C con diferente dosis de superplastificantes



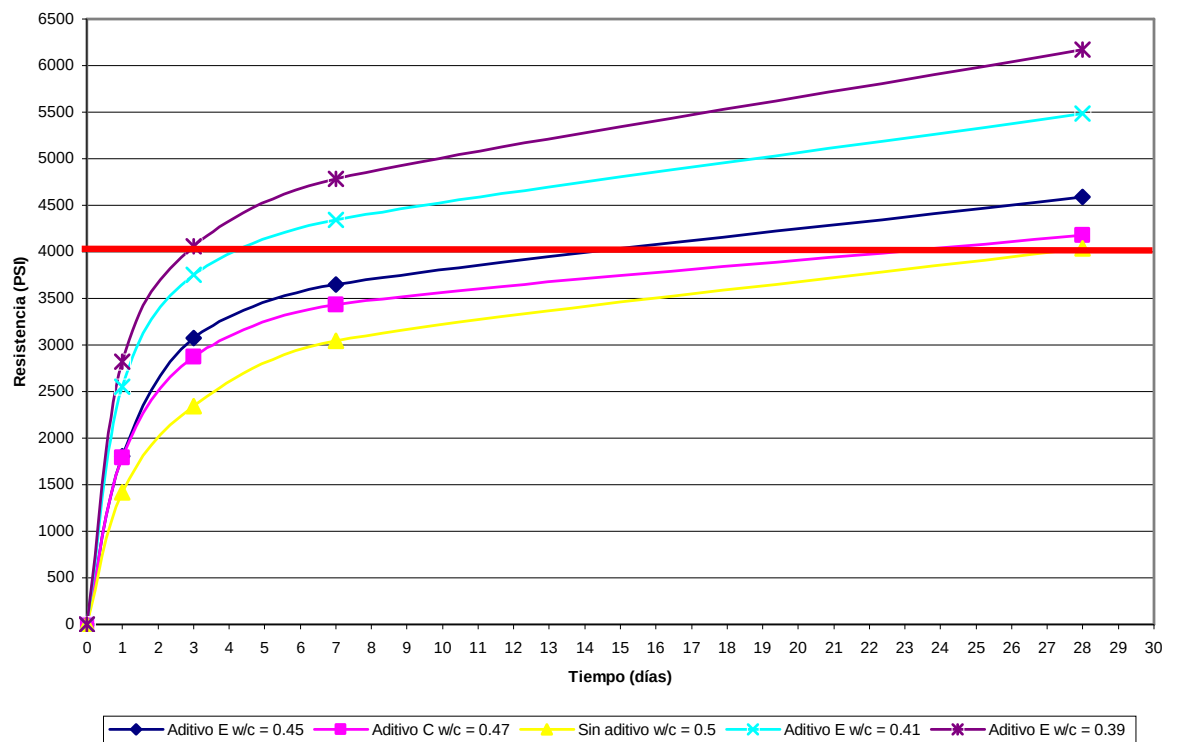
Gráfica 2: Flow a diferentes tiempos con el uso de Aditivo E



Gráfica 3: Flow a diferentes tiempos utilizando Aditivo C



Gráfica 4: Resistencia de Cemento UGC con distintos Superplastificantes



4. Discusión y Conclusión

El efecto superplastificante se nota en la reducción de agua por gramo de cemento en la mezcla, esto es gracias, a que por lo general, los aditivos funcionan como un tipo de surfactante, que posee una parte hidrófila y una parte hidrófoba, con lo que se logra una mejor dispersión del cemento sin necesidad de agregar una cantidad grande de agua.

Se ha demostrado que a menor relación w/c, la resistencia sube, en otras palabras, estas variables son inversamente proporcionales, , por ello, esto puede ayudar a incrementar la resistencia del cemento UGC.

Con esté trabajo se abre la posibilidad de establecer diferentes correlaciones, como puede ser: Correlación entre w/c y resistencia, correlación entre volumen de aditivo y resistencia. Correlación entre proporción de aditivo y relación w/c.

Además esta investigación puede dar lugar a un mejoramiento en la reducción de clinker en la mezcla con respecto a la arena volcánica, con esto se puede realizar otra proyección para llevar a un nivel óptimo del aditivo, esta reducción ayudaría grandemente a la política ambiental de la planta, debido a que el ahorro de clinker en cada saco lleva una menor emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

INVESTIGACIÓN II

FORMACIÓN DE GRUMOS EN CEMENTO

II. Grumos en Cemento.

1. RESUMEN

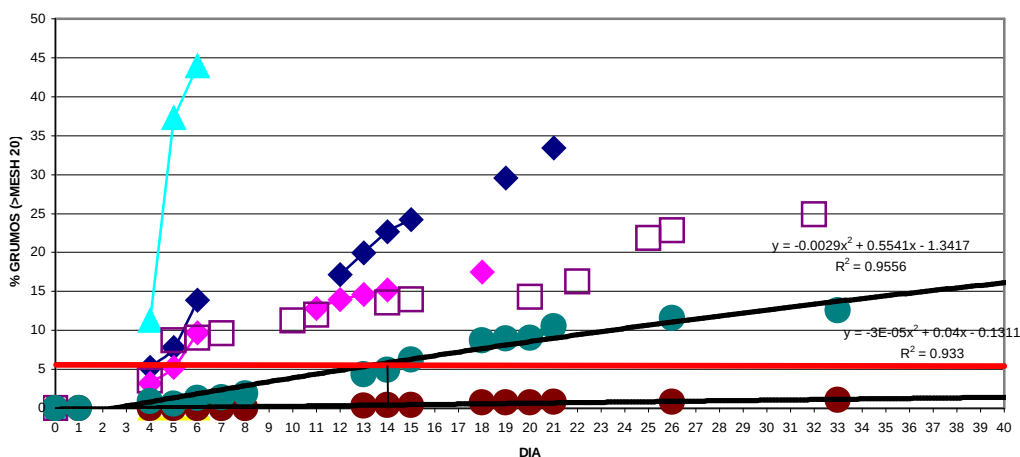
En un tiempo no mayor a 45 días se le dio seguimiento a muestras preparadas de cemento Tipo A y cemento Tipo B, tomando muestras de 1Kg las cuales se colocaron en bolsas de papel, y a distintos grados de humedad. Los grumos que pudieron formarse se midieron en diferente día y en intervalos distintos de tiempo en un mismo día utilizando un tamiz con mesh 20. La porción retenida de la muestra es pesada en balanza analítica y se calcula el porcentaje retenido.

2. Resultados:

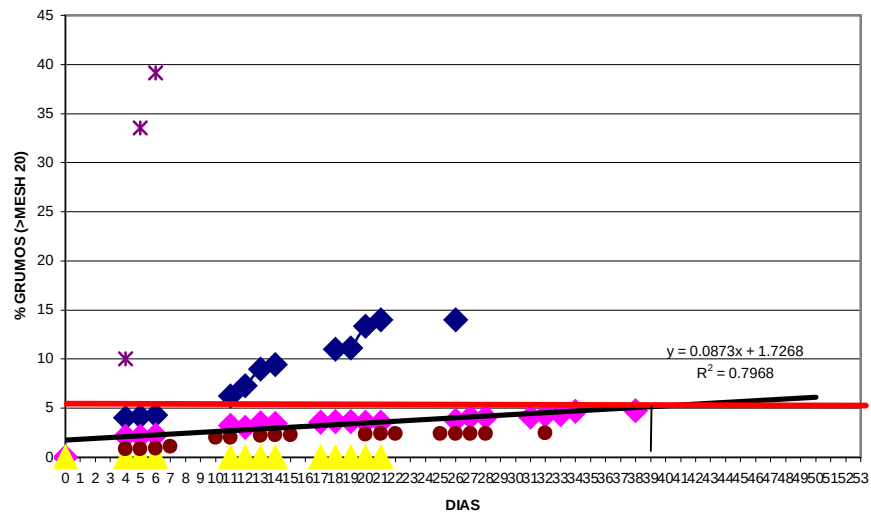
Tipo B		día de medición										
CONDICIÓN	0	4	5	6	11	12	13	14	18	20	26	38
95%H2O	0	5.23	7.8	13.88	17.2	19.99	22.62	24.2	29.54	33.42	37.86	
65% H2O	0	3.24	5.23	9.67	12.78	13.97	14.6	15.2	17.45	20.14	24.94	29.63
0% H2O(nylon)	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
SO3 4.2 95%H2O	0	11.25	37.28	43.9								

Tipo A		día de medición																			
CONDICIÓN	0	4	5	6	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	24	25	26	27	31	32	38
95%H2O	0	4.0	4.1	4.2		6.2	7.2	8.98	9.5		11.	11.1	13.4	14			14.				18
65% H2O	0	2.1	2.1	2.2		3.2	3.0	3.48	3.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6			3.8	4.0	4.1	4.3	4.7
0% H2O(nylon)	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0							
SO3 3.8 95%H2O		10	33.	39.1								42.1									
SO3 3.8% 65% H2O		0.8	0.9	0.88	2.0	2.0	2.2	2.26	2.3			2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5		2.6

FORMACION DE GRUMOS CEMENTO Tipo B



FORMACION DE GRUMOS EN CEMENTO
CEMENTO tipo A



3. Discusión y Conclusión:

Las gráficas muestran, la tendencia de la cinética de formación de grumos. De los resultados obtenidos puede concluirse que en condiciones normales de humedad y temperatura, las bolsas de cemento pueden ser guardadas o almacenadas por un periodo que no exceda los 38 días.