

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua**

**UNAN-LEON**

**Facultad de Ciencias**

**Departamento de Química**



**ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA  
REACTIVIDAD PUZOLANICA DE LAS TOBAS PARA SU USO EN  
CEMENTOS, EN LA PLANTA PRODUCTORA DE CEMENTO  
HOLCIM (NICARAGUA) S.A.**

**Trabajo de Monografía para Optar al Título de  
Licenciado en Química**

**Presentado por:**

**Marvin David Berríos Solórzano**

**Guillermo Antonio Ruiz Toruño**

**Tutora:**

**Dra. Argentina Márquez**

**León, Diciembre de 2003.**

# ÍNDICE

Contenidos .....	No. Páginas
I. Resumen .....	1
II. Objetivos .....	3
III. Introducción .....	4
IV. Revisión Bibliográfica .....	6
1. Definición de Cemento y tipos de Cementos .....	6
2. Historia del Cemento Pórtland .....	7
3. Cumplimiento de las especificaciones estándar para el Cemento Hidráulico Mezclado .....	8
4. Perfil Corporativo de Holcim (Nicaragua) S.A. ....	17
5. Materias Primas .....	17
6. Proceso de Producción .....	24
7. Ubicación y descripción del área de estudio .....	30
8. Técnica de muestreo utilizada para la recopilación de muestras.....	32
9. Técnicas Analíticas.....	33
V. Parte experimental .....	41
1. Determinación de Óxidos de Hierro, Aluminio y Silicio por SAAF.....	41
2. Determinación de la Fracción Arcillosa mediante el Método de Bouyoucos .....	44
3. Determinación de la Actividad Puzolánica mediante el Índice de Keil .....	47
4. Determinación de la Actividad Puzolánica utilizando el Método Acelerado de Conductimetría .....	51

VI. Resultados y Análisis.....	54
1. Tobas Amarillas.....	57
2. Tobas Grises.....	62
3. Arenas .....	66
4. Pómez .....	70
VII. Análisis Comparativos .....	73
1. Tobas Amarillas .....	73
2. Tobas Grises .....	79
3. Arenas.....	84
VIII. Conclusiones .....	89
IX. Recomendaciones .....	91
X. Bibliografía .....	92
XI. Anexos	

## I. RESUMEN

En el presente trabajo se estudia el uso de las Puzolanas, con el fin de utilizarlas en la elaboración de cementos de mejor calidad, para el consumidor de acuerdo a las normas de calidad C-1157 establecidas por “The American Society for Testing and Material” (ASTM), al mismo tiempo aprovechar al máximo los recursos naturales de la región, mejorando las propiedades hidráulicas del cemento y modificando de manera regulada su producción.

Se determinan los factores que afectan la Actividad Puzolánica de las Tobas tales como el residuo arcilloso, utilizando el método de Bouyoucos, y el contenido de Aluminio, Hierro y Silicio usando el método de Absorción Atómica de Flama con lámparas de cátodo hueco de aluminio, silicio y hierro respectivamente, para determinar el grado en que las actividades afectan a la reactividad puzolánica de las tobas que se utilizan en la fabricación de cemento en la planta productora de cemento Holcim, (Nicaragua) S.A.

Además, se evaluó la Actividad Puzolánica de las Tobas utilizando los métodos de Conductimetría (método acelerado) e Índice de Keil (prueba física); Los análisis fueron realizados en 14 tobas que fueron debidamente muestreadas utilizando el método de Surco, que se establece para este tipo de muestreo.

El material fue extraído de los farallones ubicados en el costado sur-oeste del cerro Boquerón, cerro No. 1, que actualmente se están explotando por la empresa Holcim (Nicaragua) S. A.; los 14 tipos de tobas muestreadas resultaron:

6 Tipos de tobas amarillas

4 Arena

3 Tobas grises

1 Pómez.

Todas las tobas analizadas demostraron aportar un incremento significativo en las propiedades hidráulicas del cemento, siendo la que mayor aporte tiene la pómez, por el contrario las arenas tienen poco beneficio en el aumento de dichas propiedades, tomando como principal criterio las resistencias que ofrecen las tobas a la compresión.

## **II. OBJETIVOS**

### **Objetivos generales**

- Determinar los Factores que afectan la Reactividad Puzolánica de las Tobas para su uso en Cementos, en la Planta Productora de Cemento Holcim (Nicaragua) S.A.
  
- Contribuir a mejorar la selección de las Tobas para su uso en Cementos en base a los Resultados obtenidos.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar la Reactividad Puzolánica de las Tobas mediante el Método Acelerado de la Actividad Puzolánica por Conductividad, e Índice de Keil.
  
- Determinar la Fracción Arcillosa utilizando el Método de Bouyoucos.
  
- Caracterizar químicamente las Tobas usando el Método Espectro-Fotométrico de Absorción Atómica de Flama.

### **III. INTRODUCCIÓN**

El Cemento es un producto de amplia utilización en el campo de la construcción, desde la construcción de hogares, puentes, hospitales hasta grandes establecimientos comerciales, áreas que son de vital importancia para el sostenimiento económico del país, es por ello que la manufactura del cemento debe ser responsable y controlada por estándares internacionales de calidad.

Holcim (Nicaragua) S.A. es una planta manufacturera de cemento que fue fundada en 1997 y es el resultado de la unión de un grupo relevante de inversionistas nicaragüenses y Holcim Ltd. ; los procedimientos de manufactura utilizados en Holcim(Nicaragua) S.A. son los establecidos por “The American Society for Testing and Material” (**ASTM**) que es una sociedad dedicada exclusivamente a la promoción del conocimiento de los materiales empleados en la Ingeniería y a la Normalización de las Especificaciones y Métodos de Ensayo, además revisan constantemente los procedimientos de ensayo y especificaciones aplicables a cada material.

El Cemento es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y en menores proporciones por aluminatos de calcio, el proceso de fabricación consiste en transformar la caliza de diferentes calidades a un producto intermedio debidamente balanceado denominado Clinker, el cual finamente molido con yeso nos da como producto final los cementos Pórtland tipo del I al V, si a esta mezcla se le adiciona puzolana en el momento de la molienda se obtiene cemento Pórtland y Puzolánico.

Las Puzolanas (Tobas) son materiales naturales o artificiales compuestas principalmente por sílice amorfa, y son utilizados ampliamente como adición (material de relleno) para la fabricación del Cemento Hidráulico Mezclado de uso general en la construcción, más accesible que otros cementos (Pórtland) económicamente hablando y con propiedades similares.

Los componentes presentes en las puzolanas utilizadas para la fabricación del cemento hidráulico mezclado tienen una gran influencia en la calidad del producto final. El uso de las tobas como agregado en la fabricación de cemento hidráulico mezclado evita que el cemento sea atacado por sulfatos y que generen productos expansivos contribuyendo esto a una mejor impermeabilidad.

Debido a la existencia de una gran variedad de tobas y de composiciones diferentes, es necesario optimizar cuales de ellas son más aptas para obtener una buena calidad en el producto final.

En este estudio se determinó la composición química de cada una de las tobas utilizadas para la fabricación de cemento hidráulico mezclado utilizando el método de determinación de óxidos mediante Absorción Atómica de Flama, además se evaluó la Actividad Puzolánica de las Tobas utilizando el método de acelerado de Conductimetría y el método físico del Índice de Keil, y se determinara su contenido de arcilla, con el fin de averiguar la influencia de estos parámetros en la calidad del producto final.



## **IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **IV.1 Definiciones de Cemento y tipos de Cementos.**

#### **Cemento.**

El Cemento es un polvo finamente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y en menores proporciones por aluminatos de calcio, que mezclado con agua, fragua y endurece a la temperatura ambiente al aire o bajo agua.

#### **Material Cementante.**

Es un material que cuando esta mezclado con agua, con o sin agregado provee plasticidad y propiedades adhesivas y cohesivas necesarias para la colocación y formación de una masa rígida.

#### **Material Cementante Hidráulico.**

Es un material inorgánico o una mezcla de materiales inorgánicos los cuales desarrollan resistencia por reacción química con agua por formación de hidratos. El cual es capaz de hacerlo bajo agua.

#### **Cemento Pórtland.**

Es un cemento hidráulico producido por la pulverización de Clinker consistiendo esencialmente de silicatos de calcio, y conteniendo usualmente una o más formas de sulfato de calcio (yeso) como una adición interna.

### **Cemento hidráulico mezclado.**

Es un cemento hidráulico consistiendo de dos o más constituyentes inorgánicos (que al menos uno de los cuales es Cemento Pórtland) que mediante su combinación contribuyen a un aumento de las propiedades de ganancia de resistencia a la compresión del cemento. (Hecho con o sin otros constituyentes, procesos de adición y adiciones funcionales, por adiciones internas u otras mezclas.

### **Adiciones.**

Es un material que es internamente adicionado o mezclado en cantidades limitadas dentro de un cemento hidráulico durante la manufactura o como un proceso de adición para ayudar en la manufacturación y manejo del cemento como una adición funcional para modificar las propiedades de uso para el producto terminado.

## **IV.2 Historia del cemento Pórtland.**

Los Griegos y los Romanos conocían un mortero puzolánico obtenido de mezclar un polvo volcánico finamente dividido con cal, arena y agua, que es el primero conocido que resistía la exposición al agua una vez endurecido.

En 1756 John Smeaton descubrió en Inglaterra que las mejores cales para mezclar con la puzolana eran las que tenían un alto contenido de arcilla (descubridor de la cal hidráulica).

En 1796 James Parker patenta en Inglaterra un producto denominado Cemento Romano que era esencialmente un cemento natural ya que no presentaba el fenómeno de apareamiento que se observa en las cales.

En 1824 Joseph Aspdin patento en Inglaterra un proceso para fabricar Cemento Pórtland habiéndose escogido el nombre a causa de la semejanza del producto con la piedra caliza obtenida en las pedreras de Pórtland Inglaterra que luego sería el nuevo cemento Pórtland.

En 1877 se hicieron los primeros intentos de adoptar hornos rotatorios en Inglaterra.

En 1885-1886 Frederick Ramon obtuvo las primeras patentes (Británicas y Norteamericanas) satisfactorias para hornos rotatorios.

### **IV.3 Cumplimiento de las especificaciones estándares para el Cemento hidráulico mezclado. Norma ASTM C-1157 M -95. Utilizada en los procesos de fabricación de Cemento en Holcim (Nicaragua) S.A.**

#### **Alcance**

Estas especificaciones cubren los requerimientos para el cemento hidráulico mezclado tanto para uso general como especial. Estas especificaciones afirman el desempeño de sus requerimientos. No hay restricciones sobre la composición del cemento o de sus constituyentes. Estas especificaciones clasifican al cemento por tipos basados en los requerimientos específicos para Uso General, Altas Resistencias Tempranas, Resistencia al ataque de los Sulfatos y el Calor de Hidratación. Los requerimientos opcionales son provistos por las bajas reactividades con agregados de Alcali Reactivo. Para las propiedades donde los valores son dados en unidades de pulgadas y libras, el valor está aceptado dentro de las unidades de medida si este es considerado como estándar.

#### **Clasificación y Uso**

Los tipos de cemento hidráulico mezclado cubiertos por estas especificaciones están dados de acuerdo con sus propiedades específicas.

Los cementos de acuerdo a estas especificaciones serían como cementos hidráulicos mezclados con características especiales indicadas por el tipo.

Cuando el tipo requerido no está especificado, el requerimiento de Uso General será aplicado.

Tipo **GU**: Es cemento hidráulico mezclado para Uso General. Se usa cuando uno o más de los tipos especiales no son requeridos.

Tipo **HE**: Altas Resistencias Tempranas a la compresión.

Tipo **MS**: Moderada Resistencia a los Sulfatos.

Tipo **HS**: Altas Resistencias a los Sulfatos.

Tipo **MH**: Moderado calor de hidratación.

Opciones adicionales: Las siguientes opciones adicionales pueden ser indicadas colocando la letra y el título de una designación seguida inmediatamente de la letra y el título de la designación principal.

Opción R: Baja Reactividad con agregado de Álcali Reactivo. Cuando es probado con el potencial de Reactividad con agregados de Álcali Reactivo el Cemento reuniría los requerimientos para Bajas Reactividades con agregados de Álcali Reactivo.

**Tabla No. 1**  
**Requerimientos Estándares Físicos para los distintos tipos de Cementos Hidráulicos**  
**Mezclados, establecidos por ASTM.**

<b>Tipo de Cemento</b>	<b>GU</b>	<b>HE</b>	<b>MS</b>	<b>HS</b>	<b>MH</b>	<b>LH</b>
<b>Fineza</b>	A	A	A	A	A	A
<b>Fraguado</b>						
<b>fraguado inicial</b>	45	45	45	45	45	45
<b>fraguado final</b>	420	420	420	420	420	420
<b>Resistencia a la compresión (Mpa)</b>						
<b>1 día</b>		12				
<b>3 días</b>	12	24	10	8	7	
<b>7 días</b>	20		17	15	12	7
<b>28 días</b>				20		17
<b>Resistencia a los Sulfatos</b>						
<b>6 meses</b>			0,1	0,05		
<b>1 año</b>				0,1		
<b>Opción R. Alkali Reactivo</b>						
<b>Expansión</b>						
<b>14 días</b>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>56 días</b>	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
<b>Resistencia a la compresión (Mpa)</b>						
<b>28 días</b>	28		28		22	

Tipo **HE**: Altas Resistencias Tempranas a la compresión.

Tipo **MS**: Moderada Resistencia a los Sulfatos.

Tipo **HS**: Altas Resistencias a los Sulfatos.

Tipo **MH**: Moderado Calor de Hidratación.

Tipo **LH**: Bajo calor de Hidratación

## **Composición Química**

La composición química del cemento no está especificada. Sin embargo, el cemento y los componentes individuales unidos o mezclados serían analizados para decir de qué están compuestos.

## **Propiedades Físicas del Cemento.**

El cemento del tipo especificado por todos los requerimientos físicos aplicables de la tabla 1, donde los requerimientos opcionales para un fácil endurecimiento o una presión a los 28 días sean especificados, el cemento conformaría los límites opcionales aplicables.

La puzolana llega a ser utilizada como un ingrediente de un cemento que no causara una expansión inaceptable debida a la reacción con el Agregado de Alkali.

Para determinar que la puzolana reúna estos requerimientos se probaría con el potencial de reactividad con Alkali. Si la expansión del mortero excede en un 0.05 % a los 91 días de edad para cualquiera de las tres composiciones conteniendo puzolana, la puzolana sería considerada potencialmente reactiva e inaceptable bajo estas especificaciones. Si el promedio total del contenido de Alkali de algunos de los lotes de cementos, expresado como  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente ( $\% \text{Na}_2\text{O} + 0.658 * \% \text{K}_2\text{O}$ ) variando por más del 0.1 % en masa del que con el potencial de la prueba de Alkali Reactivo llevado a cabo, la prueba para la reactividad con Alkali sería hecha nuevamente.

## **Muestreo del Cemento.**

Cuando el comprador requiera que el cemento sea muestreado y probado para verificar si cumple con estas especificaciones, se muestrearía de acuerdo con la práctica C-183 de las normas ASTM.

## **Método de Prueba**

Para probar un cemento y verificar si esta de acuerdo con las especificaciones, use los siguientes métodos, con las modificaciones o excepciones como esta indicado.

### **Análisis Químicos**

El cemento será sujeto a análisis químicos usando el método establecido en las normas ASTM para cantidad de óxidos presentes, incluyendo perdida de ignición, que constituye menos del 98% del total de la masa del cemento y el residuo insoluble. Cada constituyente incluido en el cemento en cantidades que excedan el 1% en masa seria sujeto de un análisis químico usando el método apropiado, tal como el método de prueba esta descrito en las normas ASTM para puzolana y otros métodos consistentes.

### **Sulfato**

Cualquier método apropiado para determinar el  $SO_3$  puede ser utilizado. Si el método de referencia establecido en las normas ASTM es usado, la muestra no necesita ser completamente descompuesta con grandes excesos de ácido.

### **Pérdida de Ignición**

Para puzolana, use el método para cemento Pórtland establecido en las normas ASTM, excepto que incinere la muestra a 700 °C o 800 °C usando un crisol de porcelana destapado. Para cementos que contienen sulfatos u otros constituyentes los cuales proporcionen ganancia de peso o calor use el procedimiento para el cemento de escoria del utiliza el método para sulfatos establecido en ASTM.

## **Fineza**

La fineza se determina de acuerdo con el método de prueba descrito en las normas ASTM:

La cantidad de retenido en una malla de 45  $\mu\text{m}$ . (No. 325) será determinada utilizando el establecido en las normas ASTM.

La Resistencia a la comprensión será determinada de acuerdo con el método de prueba, descrito por las normas ASTM. El método se correrá para cada edad especificada en la tabla 1, y si los requerimientos opcionales son especificados, las edades también están especificadas en la tabla 1. Los requerimientos para el mezclado con agua en el método descrito en las normas ASTM y sería ajustado para producir un flujo de  $110\pm 5$  para Cemento Hidráulico Mezclado.

## **La Reactividad de los Cementos con agregado de Álcali Reactivo (opción R).**

Sería probada usando el método de prueba establecido en las normas ASTM, usando vidrios de Boro-Silicato triturado, como lo describe el método.

El potencial para reactividad con Álcali para Puzolana sería determinado utilizando el método de prueba que se describe en las normas ASTM para puzolanas. Utilice todos los constituyentes excepto, la puzolana en las mismas proporciones relativas a como ellos son usados en el cemento. Prepare la mezcla conteniendo 0.0 % de puzolana, el porcentaje utilizado para usar en el cemento, el nivel intentado más el 5 % y el nivel intentado menos el 5 %. Probar esta mezcla de acuerdo con el método de establecido usando arena juzgada como no reactiva a como se indica por las normas ASTM.



### **Requisitos para el tiempo de prueba**

Los compradores harían los arreglos necesarios para el embarque de las muestras al Laboratorio de prueba. El tiempo requerido para transportarla al Laboratorio sería adicionado al intervalo de tiempo mínimo requerido del recibo de las muestras por el Laboratorio de prueba.

El tiempo mínimo requerido desde el recibo de muestras por el Laboratorio de prueba hasta el reporte de resultados sería determinado por la edad requerida del espécimen del tiempo de prueba más 7 días.

Un reporte escrito de los resultados de las pruebas aplicables estaría disponible dentro de no más de 3 días del intervalo indicado anteriormente.

### **Pruebas por el productor**

Las muestras representativas de cemento serían durante la producción o transferirlas y probarlas de acuerdo con las especificaciones. Tal prueba incluiría un análisis químico y determinación de fineza. El lugar y la frecuencia del muestreo estarán a discreción del productor. El muestreo y las pruebas son parte del control de calidad del productor.

### **Pruebas especiales**

Los siguientes requerimientos para estas pruebas están aplicados solamente para las pruebas de Resistencia a los Sulfatos y Baja Reactividad con agregado de Alkali Reactivo.

Para la resistencia a los sulfatos del tipo MS y HS y para la opción R de cualquier cemento, para probar si cumple con los requerimientos aplicables sería hacerlo una vez menos cada 12 meses. Reprobarlo es requerido si el Análisis de cualquier Óxido en cualquiera de los constituyentes o en el cemento como tal, da un valor mas bajo del que previamente esta mostrado por los requerimientos.

Reprobar también es requerido si la cantidad de un constituyente hecho con un 10% o más de cementos cambiado por un 5% o más en masa de cemento, o si el constituyente esta hecho con menos del 10% de Cemento o es cambiado por un 50 % o mas de la cantidad previamente presente.

A la demanda del comprador, los datos del productor referente a la resistencia a los Sulfatos para los tipos MS u HS o la opción R para cualquier cemento estarían hechos y disponibles cuando tales requerimientos son llamados por las especificaciones del cemento. A opción del comprador, los datos de referencia del productor pueden ser usados en lugar de muestras y pruebas adicionales para aceptar o rechazar el cemento.

### **Inspección**

La inspección del material sería hecho como estaba de acuerdo entre el comprador y el vendedor como parte del contrato de compra.

Todos los paquetes estarán en buenas condiciones a la hora de la inspección.

### **Rechazo**

El material que falla a las conformidades para los requerimientos aplicables de esta especificación para el tipo especificado puede ser rechazado. El rechazo será reportado al productor o proveedor prontamente y en escrito, presentando las razones específicas para el rechazo.

### **Certificación**

Con lo especificado en la orden de compra o el contrato la certificación de manufactura estaría terminada a la hora que el embarque declare los resultados de prueba, incluyendo los Análisis Químicos, hechos en la muestra de Cemento durante la producción o traslado y certificando que los requerimientos aplicables de estas especificaciones hayan sido reunidos.

Cuando este especificado en la orden de compra o contrato el productor proveería una lista de constituyentes específicos y adiciones funcionales si alguno estuviera contenido en el Cemento especificado.

### **Resistencia a los Sulfatos y Bajas Reactividades con agregados de Alkali (Tipos MS, HS y opción R).**

Cuando esta especificado, los resultados de esta prueba demostrando que están de acuerdo con las especificaciones estarían disponibles para inspección y el reporte de manufactura estaría en los requerimientos aplicables de estas especificaciones para reunir aquellas propiedades.

### **Marcando los paquetes.**

Cuando el Cemento es entregado en paquetes, la palabra “Cemento Hidráulico Mezclado”, el tipo de Cemento, si esta especificado, si complace la opción R, el nombre y la marca del productor, la masa y el contenido de Cemento en el, y la lista de constituyentes, usando nombres genéricos en orden creciente de abundancia, estarían plenamente marcado sobre cada paquete.

Información sería provista en una certificación de manufactura acompañando al embarque de los paquetes.

## **Almacenamiento**

El Cemento sería almacenado de manera que permita el acceso razonable para una inspección apropiada y la identificación de cada embarque y un ambiente apropiado que proteja al Cemento de humedad y minimice el lugar de almacenaje.

### **IV.4 Perfil corporativo de Holcim (Nicaragua) S.A.**

Holcim (Nicaragua) S.A. es una empresa Nicaragüense por el Cluster Centroamericano de Holcim conformado por Nicaragua, Costa Rica y Panamá, organización que se corresponde con la nueva tendencia de globalización de la Industria Cementera Mundial. Holcim es el segundo grupo Cementero del mundo, presente en más de 70 países, con una capacidad de producción instalada del orden de 90 millones de toneladas anuales.

Holcim (Nicaragua) S.A. es una moderna instalación de molienda de Clinker ubicada a 34.5 Km de Managua, en la cual se produce el Cemento SUPERNIC y cuenta con una capacidad instalada de 300000 toneladas de Cemento al año.

SUPERNIC es un Cemento Tipo Pórtland que cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-1157M y es obtenido por molienda conjunta y mezcla íntima de Clinker para Cemento Pórtland, Yeso, Calizas y Puzolana debidamente secadas y trituradas.

### **IV.5 Materias primas**

Para la producción del Cemento SUPERNIC se utilizan materias primas como Clinker, Yeso, Calizas y Puzolanas de primera calidad. El control de calidad de estas materias primas está a cargo del Laboratorio el cual cuenta con equipos modernos y personal experimentado altamente calificado con basta experiencia en el ramo.

**El Clinker** constituye la materia prima principal y más importante para la producción de Cemento. El Clinker es obtenido en el mercado internacional según la oferta.

Los minerales contenidos en el Clinker no son una combinación pura, si no fases de cristales mixtos que contiene los componentes de otras fases, en pequeñas cantidades en enlace cristalino, así como también de las restantes sustancias químicas que acompañan al Clinker, incapaces de formar fases autónomas. Los minerales principales del Clinker son la Allita y la Bellita.

La Allita ( $Ca_3Si_2O_4$  ó  $C_3S$ ) es el principal y decisivo mineral del Clinker para sus cualidades resistentes. Del  $C_3S$  se conocen seis modificaciones; en el Clinker solo aparecen seis modificaciones a altas temperaturas.

La Bellita es, fundamentalmente, la  $\beta$ -modificación del  $C_2S$ , se produce a la temperatura de sinterización del Clinker. La Bellita se endurece mucho más lentamente que la Allita; sin embargo, después de largos plazos, alcanza la misma resistencia de aquella.

**Tabla No. 2**

**Componentes químicos del Clinker utilizado en la fabricación de Cemento Hidráulico Mezclado.**

<b>Componentes</b>	<b>Porcentajes</b>
<i>CaO</i>	58-67
<i>SiO<sub>2</sub></i>	16-26
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	4-8
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	2-5
<i>MgO</i>	1-5
<i>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0-3
<i>SO<sub>3</sub></i>	0.1-2.5
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	0-1.5
<i>K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O</i>	0-1
<i>TiO<sub>2</sub></i>	0-0.5

**El Yeso** es la segunda materia prima en importancia para la producción de Cemento y se utiliza como regulador de fraguado. El Yeso es adquirido en el mercado local.

Según ASTM es un mineral constituido principalmente de Sulfato de Calcio totalmente hidratado ( $CaSO_4 \times 2H_2O$ ).

**La Caliza** es un agregado que confiere al Cemento mejores características geológicas y contribuye al desarrollo de Resistencia a edades tempranas. La Caliza es adquirida en el mercado local.

La Caliza o Carbonato de Calcio abunda en la naturaleza. Las formas más puras de la Caliza son el Espato Calizo y el Aragonito. La dureza de la Caliza esta bien determinada por su edad geológica, cuanto más antigua es la formación tanto más dura suele ser. Solamente los yacimientos de Caliza muy pura son de color blanco. Usualmente la Caliza suele tener otros minerales pertenecientes a sustancias Arcillosas o minerales de Hierro que influyen en su color.

**La Puzolana** es un agregado que confiere al Cemento propiedades de Resistencia a la agresión química y contribuye al desarrollo de Resistencia a edades mayores del Cemento. La Puzolana es extraída de canteras propias ubicadas en las inmediaciones de la Planta Industrial.

Las Puzolanas son materiales Piro clásticos Naturales o Artificiales compuestos principalmente por Sílice amorfa, que por si solas no poseen propiedades hidráulicas, pero que las desarrollan cuando están finamente molidas, mezcladas con Clinker a con Cal.

El código *ASTM (1992)*, en la definición 78, define:

Las Puzolanas son materiales Silicios o Aluminio-Silicios quienes por si solos poseen poco o ningún valor Cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reacciona químicamente con el Oxido de Calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades Cementantes.

## **Las Puzolanas según su origen**

### **Puzolanas Naturales**

Las Rocas Piro clásticas son productos de las erupciones volcánica explosivas, los fragmentos que miden entre 4 y 32 mm de diámetro son llamados Lápilli, no importa en que condición hayan sido descargados; los de diámetro más pequeños se les da el nombre de cenizas, los fragmentos eyectados con más de 32 mm de sección son llamados bombas.

Por Compactación y Cementación estas eyecciones incoherentes llegan a formar rocas, entonces las constituidas principalmente de bombas forman los aglomerados, las cenizas litificadas dan lugar a las tobas.

Las Cenizas y las Tobas pueden distinguirse por su contenido de vidrio, cristales y detritos de rocas. Aquellas compuestas de partículas vítreas son conocidas como Cenizas o Tobas vítreas, las formadas principales se les llama Cenizas o Tobas cristalinas y en las que predominan los fragmentos de rocas, accesorios y accidentales son llamadas Cenizas o Tobas líticas.

Las lluvias de eyecciones Piro clásticas se precipitan en las cuencas donde se están efectuando normalmente la sedimentación, razón por la que se encuentran mezcladas íntimamente con Arcilla, Limo, Arena y Grava (Materiales Piro plásticos y Sedimentarios). Los materiales formados de esta manera son clasificados como sedimentos Cenizosos si no están compactados, y como Rocas Sedimentarias Tobáceas si están litificadas. La mezcla de materiales Piro plásticos y Sedimentados también puede resultar de la erosión y redepositación, pues las eyecciones fragmentarias incoherentes son especialmente dóciles para ser trasportadas por el viento y el agua y, por supuesto, las rocas Piro clásticas sólidas y las lavas también pueden ser redepositadas ya sea sola o en compañía de detritos no volcánicos.

Los materiales Piro plásticos se consideran como impurezas de los materiales Piro clásticos, para su utilización de Cementos. Por su alto contenido de Aluminatos debido a la propiedad de este de desplazar el Silicio de los Silicatos presentes en ellas, por el Aluminio de los Aluminatos, provocando que absorban los iones de Calcio que se liberan de la Hidratación del Clinker, impidiendo que se forme el Gel Cementante.

### **Puzolanas artificiales**

**Cenizas volantes:** Las Cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito) fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.

**Arcillas activadas o calcinadas artificialmente:** Por ejemplo residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidos a temperaturas superiores a los 800 C°.

**Escorias de Fundición:** Principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.

**Las Cenizas de Residuos Agrícolas:** La ceniza de cascarilla de arroz y las cenizas del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en Sílice y Alúmina, cuya estructura depende de la de combustión.

Las propiedades de la Puzolana dependen de la composición química y la estructura interna. Se han encontrado Puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , y  $Fe_2O_3$ ) sea mayor del 70 %. Se trata que la Puzolana tenga una estructura amorfa.



En el caso de las Puzolanas obtenidas como desechos de la agricultura (Cenizas de la caña de azúcar y el arroz), la forma más viable de mejorar sus propiedades de realizar una quema controlada en incinerarios rústicos, donde se controla la temperatura de combustión, y el tiempo de residencia del material.

Alteración de las rocas Piro clásticas: Los depósitos Piro clásticos como particularmente los de grano fino, ya están alterados debido a su porosidad. Su alteración puede ser debida simplemente al intemperismo superficial o puede resultar de las influencias de las aguas residuales resultantes.

La alteración de las Tobas ácidas (ricas en Silicio), es la desvitrificación del vidrio. El vidrio puede sobrevivir por mucho tiempo sin embargo, lo mas natural es que la desvitrificación se efectuó rápidamente, el vidrio puede ser reemplazado por sustancias cloríticas, la cual es verdosa al principio, pero rápidamente se oxida a un color amarillo.

La alteración del vidrio a ópalo y Arcilla es muy extendida, los productos mas familiares de la desvitrificación del de tobas es la Bentonita, una roca generalmente compuesta de Montmorillonita (Arcilla), la cual conserva algo de la textura Vitro clástico original.

### **Ventajas de la puzolana.**

La Puzolana es un ingrediente activo que tiene como función básica formar un aglomerado con los productos liberados por la hidratación del Cemento. Además, durante la elaboración del Concreto, actúa como agregado fino, lo que permite sustituir parte de Arena por Grava.

El Concreto obtenido es muy plástico y puede trabajarse fácilmente por lo que requiere menos agua de lo que indica su apariencia.

Como resultados se tiene acabados más tersos e impermeables, de mayor Resistencia al ataque de Sulfatos, Reacción Alcalina, agregado y lluvia ácida.

Crecimiento de las Resistencias a la compresión a grandes periodos de tiempo.

Alta Resistencia a los Sulfatos, esto es a consecuencia de la Reacción de la Puzolana con los Aluminatos del Clinker que posibilita la solubilidad de estos últimos, que al reaccionar con los Sulfatos no generan productos expansivos y por estar en solución se desplazan.

Mayor permeabilidad.

Disminuye el factor económico en lo que respecta a la manufactura y comercialización.

### **Almacenamiento de materias primas**

La Puzolana triturada y seca es almacenada, al igual que la Caliza, Clinker y Yeso en un almacén de materia prima que cuenta con un área techada total de 6240 m<sup>2</sup> en la que se pueden almacenar 60 000 TM.

Llenado de Silos de materia prima para la molienda: Las materias primas son alimentadas al sistema de llenado de silos mediante una cargadora frontal, la cual deposita las materias primas en una tolva donde pasan a una trituradora de martillos para ser reducidas de tamaño hasta un diámetro no mayor de 1 pulgada, los materiales triturados caen en una banda transportadora que los conduce a un elevador de cangilones, de donde son enviados a sus respectivos silos de almacenamiento.

Dosificación de materias primas: Las materias primas (*Clinker, Yeso, Caliza y Puzolana*) previamente trituradas y secadas, son dosificadas gravimetricamente en porciones establecidas por el laboratorio de control de calidad según el tipo de Cemento que se desea producir.

El sistema de dosificación gravimetría de las materias primas garantiza mayor uniformidad en la calidad de nuestros productos.

## **IV.6 Proceso de Producción**

Las materias primas dosificadas en porciones establecidas por el Laboratorio según el tipo de Cemento, son alimentadas al molino de bolas mediante una banda transportadora.

La alimentación del molino inicia en la galera de materias primas donde se prepara por separado mezclas volumétricas de Clinker-Toba y de Yeso-Caliza, que luego se transportan a los silos de materia prima mediante un sistema de bandas y un elevador de cangilones, y tienen una capacidad de almacenamiento de 160 y 50 toneladas respectivamente.

### **Proceso de Molienda**

La molienda consiste en reducir el Clinker, Yeso, Caliza y Toba a un polvo fino de tamaño inferior a 150 micrones.

La molienda se realiza en un molino tubular de bolas, que consisten de tubos cilíndricos divididos en dos cámaras que giran a gran velocidad con diversos tamaños de bolas en su interior utilizando una potencia de casi 2000 HP.

### **Tipos de procesos de molienda**

**Abierto:** En el que el material entra por un extremo y sale terminado por el otro extremo.

**Cerrado:** El material entra por un extremo y sale por el otro extremo hacia un separador que devuelve las partículas gruesas al molino. El producto que completa su etapa de fabricación en el molino de Cemento, es almacenado en silos de hormigón.

## **Molienda del Cemento**

En el proceso productivo del Cemento SUPERNIC la molienda se lleva a cabo en circuito cerrado. Este circuito cerrado esta compuesto por el molino de bolas, el aerodeslizador en la descarga del molino, un elevador de cangilones para recirculación, un tornillo transportador que alimenta un separador dinámico **Stutervant** que permite la separación de partículas gruesas retomándolas hasta el proceso de molienda hasta alcanzar el modulo de finura requerido, garantizándose así una mayor uniformidad de partículas y con ello la calidad del cemento.

Clinker, Yeso, Caliza y Puzolana (Toba) son molidos conjuntamente en el molino de bolas para producir el Cemento SUPERNIC *Pórtland tipo GU* (uso general), el cual es almacenado en un silo intermedio con capacidad para 200 TM; de aquí es dosificado y gravimetricamente transportado hacia otro elevador de cangilones que lo deposita en cualquiera de los cuatros silos de producto terminado, según sea el tipo de cemento. Estos silos tienen una capacidad de 500 toneladas cada uno.

El proceso tecnológico de Holcim (Nicaragua) S.A. se caracteriza por su versatilidad ya que su diseño permite producir diferentes tipos de Cemento sin hacer cambios significativos en su línea tecnológica.

## **Sala de control**

El proceso productivo de Holcim (Nicaragua) S.A. se caracteriza por su moderna tecnología ya que el mismo es manejado por computadoras desde una sala de control central, desde donde se inician las secuencias de arranque o de paro de las maquinas, de acuerdo a un programa especialmente diseñado, convirtiéndolo en un proceso a altamente automatizado.

## **Control de calidad**

Tanto la calidad de las materias primas como de los productos terminados es controlada sistemáticamente por nuestros Laboratorios, amén del control externo a que sometemos nuestras muestras de materias primas y productos de laboratorios de Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Venezuela y Estados Unidos, laboratorios con gran experiencia, reconocido prestigio y debidamente acreditados para la realización de ensayos de Cemento.

Como miembro del grupo Holcim, Holcim (Nicaragua) S.A. dispone de los recursos técnicos, la experiencia y la vocación de servicio y liderazgo que han llevado a Holcim a convertirse en uno de los primeros productores de Cemento y productos derivados de todo el mundo.

El Laboratorio de Control de Calidad de Holcim (Nicaragua) S.A. se rige por las normas ASTM (USA). Aquí se realizan ensayos de tiempos de Fraguados, Resistencia a la compresión superficie específica Blaine, módulos de finuras y análisis de finuras completo.

Sus resultados pueden ser verificados en cualquier Laboratorio debidamente acreditado para la realización de ensayos de Cemento.

## **Control de la producción de Cemento.**

La producción de Cemento se controla tomando en cuenta la supervisión individual de las etapas concernientes al proceso.

### **Control de la materia prima**

El control de la materia se lleva a cabo mediante la realización de una serie de análisis de manera periódica con el fin de determinar las condiciones necesarias de producción condicionadas por las normas ASTM. Los análisis a realizar a las materias primas son: el análisis químico completo de Clinker, determinación del porcentaje de Carbonato de Calcio a la Caliza, determinación de la Actividad Puzolánica en la Toba, determinación del contenido de Sulfato de Calcio en el Yeso, y el control de Humedad y Granulometría a todos estos componentes.

### **Control de procesos.**

El control de procesos se lleva a cabo con el fin de vigilar constantemente las posibles variaciones del producto terminado con las especificaciones predispuestas por la ASTM y las medidas a tomar cuando dichas variaciones estén muy alejadas de los rangos de trabajo especificados.

Esto se lleva a cabo mediante un muestro diario cada una hora para llevar un control real de cómo esta siendo elaborado el producto. Para controlar bien los procesos se realizan análisis de humedad a las materias primas de igual forma se realizan Análisis de Fineza, Consistencia y Fraguado del Cemento

### **Control de producto terminado.**

El control de producto terminado se lleva a cabo mediante la toma de una muestra compuesta acumulada durante 24 horas de molienda, de la cual se realizan todos los Análisis químicos mencionados anteriormente y además ensayos Físicos como Resistencia a la compresión, Fraguado, Consistencias, Finura Blaine, Retenidos y Reactividad.

### **Ensacado y despacho**

Con el fin de mejorar el servicio al cliente Holcim (Nicaragua) S.A. instalo una maquina ensacadora rotativa HAVER de 10 surtidores con capacidad de 3000 sacos / hora la cual una vez, complementado el proyecto, será alimentada por un aplicador automático de sacos y estará dotada de una instalación paletizadora. La carga de camiones se realiza utilizando dos montacargas equipados con dispositivos **PUSH-PULL** con las cuales se carga un camión de 500 sacos en un máximo de 8 minutos. Esta instalación garantiza un servicio eficiente a los clientes en ambiente limpio.

Holcim (Nicaragua) S.A. ofrece Cementos en sacos de 42.5 Kg y a granel en Cisternas propias con capacidad de 20 TM cada una. El Cemento es vendido puesto en Fábrica aunque también ofrece servicios de transporte en rastras y camiones a granel mediante el uso de cisternas. Holcim (Nicaragua) S.A. ofrece también a sus clientes industriales silos de obra para Cemento a granel con su propio sistema de extracción y pesaje que facilita la dosificación de Cemento para la elaboración de concreto en la obra.

### **Protección ambiental.**

Holcim (Nicaragua) S.A. como empresa de grupo Holcim promueve el desarrollo de su proceso productivo bajo el concepto de producción mas limpia dirigiendo sus esfuerzos a minimizar desperdicios durante el proceso o eliminar el impacto ambiental a través de emisiones, mediante una gestión apropiada del mantenimiento predictivo y correctivo apoyándose para ello en el sistema de gestión *MAC*.

Como parte del plan de protección del medio ambiente, Holcim (Nicaragua) S.A. ha venido desarrollando proyectos de reforestación y riego con el propósito de mejorar el microclima, además de ornamentar las áreas y convertirlas e sitios agradables para beneficio de sus clientes, trabajadores y colaboradores.

En la reforestación de las diferentes áreas de plantas se han utilizado árboles de nim, laurel de la india, palmeras, plantas ornamentales variadas y gramas.

También se han venido desarrollando obras de drenaje y localización de las aguas superficiales con el propósito de evitar la erosión de los suelos y el arrastre de sedimentos con el consecuente daño de los cuerpos de agua, recuperación de patios utilizados para secado de materia prima, se ha trabajado en un proyecto de ordenamiento y reducción de contaminación con polvo, se ha realizado auditorias de campo en los puestos de trabajo en el aspecto de orden y limpieza también hay planes para recuperar vía reforestación las áreas de minas agotadas.

### **Seguridad Industrial.**

La Seguridad del personal que labora en Holcim (Nicaragua) S.A. constituye una prioridad, por tal razón impulsa dentro su personal una cultura de trajo seguro cero accidentes laborales fomentando el cumplimiento estricto de las normas de seguridad e higiene ocupacional que manda el *MITRAB*, *INSS* y el grupo Holcim. Para ello Holcim (Nicaragua) S.A. fomenta la capacitación de su personal en temas importantes de seguridad, higiene ocupacional y combates de riesgos. El sistema de gestión del mantenimiento *MAC* y el sistema de gestión administrativa *SAP* constituyen herramientas tecnológicas de primer orden para lograr objetivos tan importantes como lo son la seguridad industrial y la producción más limpia.

Holcim (Nicaragua) S.A. es una empresa del grupo Holcim que se preocupa por producir productos de primera calidad, con gran eficiencia y efectividad valiéndose de tecnología moderna y personal altamente calificado, en beneficio de sus clientes y del desarrollo del país.



### **Laboratorio de Control de Calidad de Holcim (Nicaragua) S.A.**

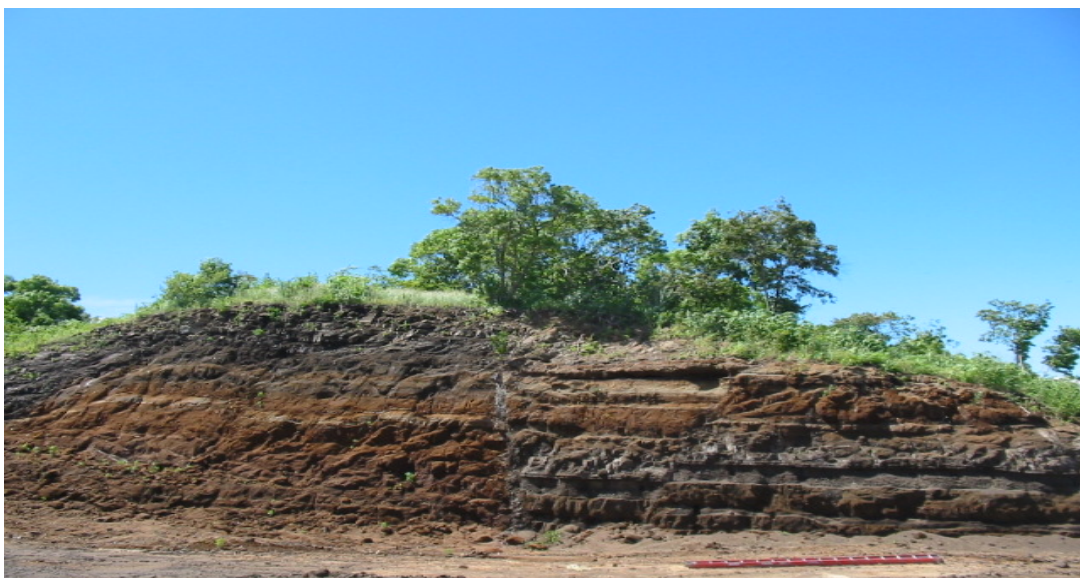
El Laboratorio de Control de Calidad de Holcim (Nicaragua) S.A. lleva un control estricto en análisis comparativos con laboratorios de prestigio internacional como lo son INCSA Costa Rica, Cementos Colón de República Dominicana, Construcción Technology Laboratories, INC (CTL), que es un laboratorio situado en Estados Unidos de América dedicado a la realización de análisis a materiales cementantes y otros, es por ello y por la disponibilidad de equipos que no se llevo a cabo ninguna validación de métodos además el objetivo de este trabajo no era la validación de ningún método. Por lo tanto todos nuestros productos cumplen con las normativas impuestas por las normas ASTM.

#### **IV.7 Ubicación y Descripción del área de estudio.**

El área de estudio fue ubicada como el Cerro No. 1 situado en el sector Sur-Oeste del cerro el Boquerón, desde el punto de vista geológico resultan de interés las presentes investigaciones Puzolánicas de origen natural, tales como: Tobas Volcánicas, Cenizas Volcánicas, Pómez y rocas constituidas por vidrio volcánico intemperizadas en mayor o menor grado.

#### **Foto No.1**

#### **Cerro No. 1 situado en el sector Sur-Oeste de Cerro Boquerón.**



El yacimiento de Toba que se encuentra en la zona de interés y en todo el entorno geográfico de Managua, tiene su génesis en la Actividad Volcánica explosiva desarrollada en la época Cuaternaria (Pleistoceno-Holoceno); en el Pleistoceno se produce en la región una intensa actividad volcánica en centros explosivos, dando lugar a la acumulación de Cenizas y otros minerales Piro clásticos depositados en un ambiente continental, alrededor o a una corta distancia del centro eruptivo.

Los depósitos de Tobas corresponden a la provincia de la depresión de Nicaragua. Se caracteriza por un conjunto irregular de cuevas, mesetas volcanes recientes, casi en las serranías del Pacífico.

El sitio esta ubicado en el borde Occidental de la depresión al extremo Norte de una extensa cuesta de eje Norte-Sur, que nace en los terrenos altos de Mateare, Cuajachillo y descende hacia la Costa del Pacífico.

En la zona estudiada no existe la presencia de ríos importantes, salvo quebradas de perfil pronunciado, que trasportan agua y sedimentos durante la época lluviosa; las quebradas poseen orientaciones preferenciales sur oeste nor-oeste.

El Clima de la zona es de tipo Tropical de Sabana, caracterizado por dos estaciones bien diferenciadas, la estación seca que se extiende de Noviembre a Abril y la estación lluviosa de Mayo a Octubre.

### **Característica Estratigráfica de la Región.**

La zona de estudio ubicada en la provincia geológica del Pacífico de Nicaragua, esta caracterizada por la presencia de gruesas acumulaciones sedimentarias y volcánicas de gran espesor que abarcan un extenso periodo de actividad geológica desde el cretácico superior, Paleoceno al Plio-pleistoceno (Cuaternario).

Las acumulaciones Piro clásticas en el subsuelo de la zona tienen su origen en las erupciones Freato-magmáticas fisurales en el sector del Crucero, Lagunas de los Volcanes Mira Flores, Apoyo y Xiloá.

### **Características Geológicas del Yacimiento.**

El Yacimiento Tobáceo está ubicado en las Tobas Vitro clásticas del grupo las Sierras. En la Toba se agrupa una gran variedad de materiales Piro clásticos del Plio-pleistoceno, depositados en un ambiente costero de agua o de aguas someras, que cubrieron una extensa zona de provincia del Pacífico de Nicaragua.

#### **IV.8 Técnica de Muestreo utilizada para la Recopilación muestras (Método de Surco).**

Para la realización del muestreo se procedió a utilizar la técnica de muestreo de surco; que es la que se recomienda para este tipo de muestreo, la cual consiste en lo siguiente:

Se limpió cuidadosamente el área de muestreo con una brocha.

Se seleccionó un área de 10 cm<sup>2</sup> la cual se retira cuidadosamente para que no se mezcle con las otras capas (estratos) utilizando una pala de mano.

Luego se colocó en una bolsa de Polietileno, se rotula y se almacena.

**Foto No. 2****Demostración de la técnica de Muestreo Utilizada.****IV.9 Técnicas Analíticas****Absorción Atómica.**

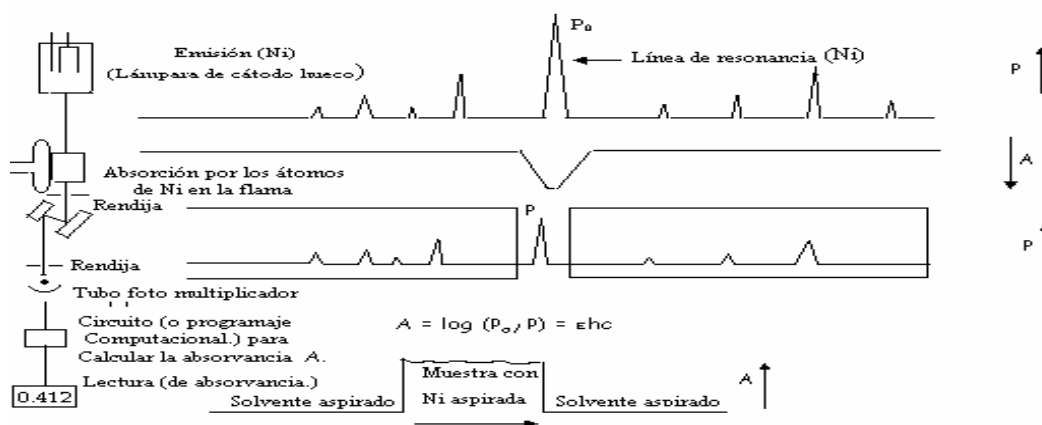
La Absorción de radiación por los átomos es una herramienta de Laboratorio químico para el Análisis cuantitativo, la Absorción Atómica de Flama es uno de los Métodos mas ampliamente utilizados en la Química Analítica.

El fenómeno que estudia la Absorción Atómica puede dividirse en dos procesos principales:

- La producción de átomos libres de la muestra.
- La absorción de la radiación de una fuente externa por estos átomos.

En la flama la Absorción de radiación por átomos libres, aquellos átomos del Analito desprovistos de su ambiente químico pero no ionizados involucra una transición de estos átomos desde el altamente poblado estado basal hasta un estado electrónico excitado aunque es posible que ocurran otras transiciones electrónicas los espectros de absorción atómica de un elemento constituido por una serie de líneas de resonancia, todas con origen en el estado basal y con destinos en diferentes estados excitados. Generalmente la transición entre el estado basal y el primer estado excitado, lo que se conoce como primera línea de resonancia, es la línea de mayor absorptividad. La Absortividad de un elemento disminuye conforme aumenta la diferencia de energía entre el estado basal y el excitado. La primera línea de resonancia del analito es que se utilizan para el análisis, si esta se requiere alta sensibilidad y si todos los demás factores son constantes.

**Figura No. 1**



Para que la Absorción Atómica funcione como Método cuantitativo, el ancho de línea emitida por la fuente de líneas nítidas debe ser menor que el ancho de la línea de Absorción del analito de la flama. La forma de la línea espectral emitida por la fuente es un parámetro crítico de la absorción Atómica de Flama.

Los gases de la Flama se consideran como una celda porta muestra que contiene átomos libres y no excitados, capaces de Absorber Radiación a la longitud de onda de la línea de resonancia emitida por la fuente externa. La Radiación no absorbida pasa a graves de un monocromador que aísla la línea de Resonancia y después por una foto detector que mide la potencia radiante de la línea de resonancia en presencia y ausencia de los átomos del analito de la flama.

Las transiciones del estado basal al primer estado excitado, ocurren cuando la frecuencia de radiación incidente de la fuente es exactamente igual a la frecuencia de la primera línea de resonancia de los átomos libres del analito. Parta de  $P_0$ , la energía de la primera radiación incidente es absorbida,  $P$ , la potencia transmitida puede ser descrita.

$$P = P_0 e^{-(kb)}$$

En donde  $k$  es el coeficiente de Absorción del Analito y  $b$  es el espesor del medio absorbente esto es, la longitud del paso de la radiación a través de la flama. Alrededor del centro de la línea de resonancia hay una banda finita de longitud de onda originada por el ensanchamiento de la banda de la línea de absorción dentro de la flama y también dentro del ensanchamiento asociado con la fuente de emisión.

Para que la ecuación anterior sea valida, el ancho de la banda de radiación incidente de la fuente, y que puede ser absorbida por los átomos del analito, debe ser mas estrecha que la línea de absorción. Esto significa que el ancho de que el ancho lineal de la fuente de radiación primaria debe ser menor que 0.001 nm, el ancho usual de la línea de resonancia que se encuentra en el espectro de absorción de los átomos libres. Este requisito en el ancho de las líneas de resonancia emitidas por la fuente, surge porque todos los monocromadores, aun los mas caros tienen pasos de banda mayores que 0.01 nm.

Se ha demostrado que un cátodo hueco hecho del mismo elemento que el analito, emite líneas que son más delgadas que las correspondientes líneas de absorción atómica de los átomos del analito de la flama. Esta es la base de la instrumentación comercial de AAS.

Cundo se utiliza aire como oxidante se obtienen temperaturas de 1700 °C a 2400 °C con varios combustibles. A esas temperaturas, solo las especies fácilmente excitables tales como Metales Alcalinos y los Alcalinos Térreos producen espectros de emisión aprovechables. Para los metales pesados, los cuales se excitan menos fácilmente, se debe emplear Oxígeno u Óxido Nitroso como oxidante, estos oxidantes producen temperaturas de 2500 °C a 3100 °C con los combustibles comunes.

Las regiones más importantes de la llama son las zonas de combustión primaria, la región interconal y el polo exterior. El área interconal, la cual es relativamente estrecha en llamas de hidrocarburos estequiométricas, puede alcanzar varios centímetros de altura con fuentes ricas en combustibles de Acetileno / Oxígeno y Acetileno / Óxido Nitroso. La zona es con frecuencia rica en átomos libres y es la parte de la llama que más se utiliza en espectroscopia.

### **Determinación de la Fracción Arcillosa mediante el método de Bouyoucos.**

La distribución por tamaño y ordenamiento de las partículas del suelo determinan sus relaciones con el aire y agua. De igual modo afectan a las propiedades microbiológicas de los suelos. Cuanto más elevado es el punto de colóides, el movimiento de agua y de aire es menor, aumentando por el contrario, la capacidad de retención de los nutrientes.

Las Arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino. También podemos decir que son Silicatos de Aluminio Hidratado, en forma de Roca plástica, impermeable al agua y bajo acción del calor se deshidrata endureciéndose mucho. La composición química de las Arcillas varía desde aquellas que se aproximan a los minerales puros de la arcilla hasta los que contienen agregados de Hidróxido de Hierro, Sulfuro de Hierro, Arena, Carbonato de Calcio, etc. El Hidróxido de Hierro es el componente colorante más frecuente de las Arcillas. La Arcilla sin impurezas es blanca.

Este método está basado en el hecho de que la Arcilla es un material granuloso muy fino impermeable al agua. Cuando los mezclamos con bastante agua forma una solución coloidal, a la cual se le determina la densidad.

La densidad se determina con Hidrómetro, denominado hidrómetro de Bouyoucos graduados para leer gr/lit: 0-60 \* Está calibrado 20 °C, pero puede emplearse con las correcciones necesarias a temperaturas ambiente. Esta lectura nos indica la concentración de sólidos totales en la suspensión (gr/lit), indicada por la escala del densímetro a los 40 segundos después de la agitación, corresponde a partículas de diámetro menores que 20  $\mu$  (Arcilla-Limo) y la indicada a 2h corresponde a partículas de diámetro  $\leq 2 \mu$ .

Por lo tanto, la lectura realizada a las 2h nos indica directamente la concentración de Arcilla en la suspensión, y restando esta cantidad de la correspondiente a los 40 segundos se obtiene la concentración de Limo. El contenido de Arena se calcula por diferencia entre el peso total del suelo y el peso del conjunto de Arcilla y Limo.

Las lecturas del Hidrómetro deben ser corregidas basándose en la Temperatura que se monta en cada lectura. Si la temperatura es superior a 19.44 °C, los grados que exceden a este valor se multiplican por 0.36 y se agregan a la lectura inicial. Si la temperatura es inferior a 19.44 °C, se multiplican los grados que faltan por 0.36 y se restan de la lectura inicial o final de Hidrómetro. De esta forma se obtendrán las lecturas corregidas.



### **Determinación de la Actividad Puzolánica mediante el Método Físico Índice de Keil**

El método Físico del Índice de Keil mide las propiedades hidráulicas latentes del material.

Se determina la Resistencia a compresión hidráulica a 28 días en el mortero de:

- a) Un Cemento Pórtland de referencia.
- b) Un Cemento sustituyendo 30% por material inerte.
- c) Un Cemento sustituyendo 30% por el material de estudio.

El Índice de Keil refleja el incremento o deterioro de la Resistencias a la compresión cuando se sustituye un 30 % del material en estudio de un cemento Pórtland ordinario.

Si el material estudiado tiene un material hidráulico y latente ocurrirán las siguientes reacciones:



Donde **CHS** = Gel Cementante o Tobermorita.

En el proceso hay formación de Gel de Cemento (**CHS**) a partir de Hidróxido de Calcio, subproducto de la hidratación del Clinker y en la mayoría de casos del Óxido de Sílice no cristalinos contenidos en Puzolanas. A mayor cantidad de Gel de Cemento la Resistencia a compresión aumenta si las condiciones para el desarrollo de las Resistencias a la compresión de Cementos son adecuadas.

Un Índice de Keil igual a cero indica que el material estudiado es inerte (ver la ecuación para el cálculo), en este caso como el cuarzo. La disminución de la Resistencia a la comprensión comparada con el Cemento patrón es debida únicamente a una menor cantidad de minerales hidráulicos en el Cemento (menos Clinker).

Si el Índice de Keil resulta negativo, el material estudiado deteriora la Resistencia a la comprensión del mortero en un mayor grado que el Cemento con la sustitución de material inerte. Esto indica que existen en el material componentes adicionales, generalmente Arcillas que aumentan la demanda de aguas o impiden el desarrollo de las reacciones de hidratación y por lo tanto afectan el desarrollo de las Resistencias a la comprensión en el mortero.

Los valores positivos del Índice de Keil, dan una idea del potencial de material para aportar  $\text{SiO}_2$  u otros compuestos ácidos capaces de reaccionar con el Hidróxido de Calcio para formar Gel de Cemento.

## **Determinación de la Actividad Puzolánica mediante el método de Conductimetría. (Método Acelerado)**

Como se estableció anteriormente las Tobas contienen altos porcentajes de Silicio. En forma Óxido de silicio, debido al origen Vitro clástico, y en forma de Silicatos debido al contenido de Material Arcilloso. En este ultimo esta basado el análisis de las Actividades, basándose en las conductividades. Una propiedad extraordinaria de los Silicatos es su posibilidad de sustituir el átomo de Silicio, situado al centro de los tetraedros, por otro átomo de menor carga como el Aluminio, generando así una deficiencia de carga positiva, o un exceso de carga negativa en el tetraedro, la cual necesita atraer otros cationes para compensarse por ejemplo  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ .

Este es el mecanismo que permite a los silicatos tener propiedades únicas de acidez e intercambio iónico.

En esto esta basado el análisis de la determinación de la actividad Puzolánica debido a que se le añade a las muestras una solución de Hidróxido de Calcio, con e fin de medir con el conductímetro el flujo iónico de los átomos de Calcio de la solución de Hidróxido de Calcio a la muestra que contiene los Aluminio-Silicatos de las Arcillas, siendo la que tarde menos tiempo en disminuir su conductividad aquella que tenga menos Aluminio-Silicatos que consuman Hidróxido de Calcio, tomando como referencia un blanco de conductividad mínima.

Según este método se considera “**Muy Activa**” cuando  $t_{(\alpha=0.5,4.50)} = (H_2 - H_1)$  sea menor de 3h (180 min.), Como “**Buena**” cuando este valor se encuentre entre 3.3h y 3.9h (198 min.- 234 min.) Y como “**Aceptable**” cuando supere 3.9h (234 min.).

## V. PARTE EXPERIMENTAL

### Determinación de Óxidos de Hierro, Aluminio y Silicio en las Tobas Mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica de Flama (SAAF).

#### Equipos y Reactivos

- a) Ácido Nítrico al 4%. Mezclar 400 ml de Ácido Nítrico concentrado con 9.6 lit de Agua destilada.
  
- b) Solución de Lantano (Óxido de Lantano). Pesar 11.73 gr de  $La_2$ , agregar 200 ml de Agua destilada en un Beaker de 600 ml, agregar lentamente 20 ml de Ácido Clorhídrico concentrado con agitación magnética, calentar un poco la solución hasta que la disolución se complete. Aforar y Homogeneizar en un balón de 500 ml 1ml de solución contiene 0.02 gr de Lantano.
  
- a) Crisoles de Grafito.
  
- b) Crisoles de Platino.
  
- c) Espátula.
  
- d) Beaker de Polietileno de 100 ml.
  
- e) Balón Aforado de 500 ml.
  
- f) Pipeta de 10 ml.
  
- g) Balón de 250 ml.

### **Tratamiento de Cristalería**

Se procedió a lavar la cristalería primeramente con Agua del grifo y detergente, luego se le hizo un tratamiento con Ácido Nítrico al 4%, luego se lavo con abundante Agua destilada y se seco en un Horno a 70 °C durante 2 horas.

### **Preparación de la muestra**

Los materiales utilizados en esta práctica fueron previamente preparados dejándolos limpios y libre de humedad

La muestra fue previamente secada en una Plancha de calentamiento, seguidamente fue triturada utilizando un Triturador de Mandíbulas y pulverizada utilizando un Molino Pulverizador de discos.

Posteriormente se midió la fineza haciéndose pasar la muestra por una Malla No. 200 aceptándose un máximo de retenido del 5%. Una vez obtenido el valor deseado la muestra se introdujo en un Horno a una temperatura de 50 °C durante 4 horas para eliminar Humedad.

### **Digestión de la muestra**

Para este Análisis deben prepararse soluciones para un patrón (blanco), estándar y muestra.

- a) Se Calcinaron los crisoles de grafito a 950 °C por 10 min. Para cada solución a preparar.
- b) Se pesaron 0.5000 gr  $\pm$  0.0002 gr de muestra previamente secada a 250 °C.
- c) Se pesaron 0.8 gr de Meta Borato de Litio y Dióxido de Boro y Litio.

- d) Se mezclaron en Crisol de Platino con una espátula.
- e) Se vertieron en Crisol de Grafito con sumo cuidado previendo no botar muestra.
- f) Se fundieron en el Horno a 950 °C por 10 min. , Sacar y agitar lentamente y seguir fundiendo por 2 min.
- g) Se vertieron rápidamente en un Beaker de 100 ml (de Polietileno) que contenga 60 ml de Ácido Nítrico al 4% con agitación magnética sobre un nivel de 100 ml. para diluir mas rápidamente la muestra fundida (se agitó hasta completar disolución, ≈10 min.).
- h) Se filtraron con Papel Whatman No. 41, utilizar una Varilla de Vidrio y enjuagar varias veces hasta completar 500 ml de Ácido Nítrico en un Balón Aforado.
- i) Se vertieron en un recipiente de Polietileno de 500 ml y esta se utilizara para analizar Óxidos de Silicio, Aluminio y Hierro.
- j) Se Analizaron Silicio y Aluminio en llama de Acetileno-Oxigeno-Oxido Nítrico.
- k) Se Analizó Hierro en llama de Acetileno-Oxigeno.

## **Determinación de la Fracción Arcillosa mediante el Método de Bouyoucos.**

### **Equipos y Reactivos**

- a) Solución saturada de Oxalato de Sodio 3.79 gr/100 ml.
- b) Solución de Hidróxido de Sodio 1 N.
- c) Agitador Eléctrico con soporte.
- d) Vaso Metálico.
- e) Densímetro Bouyoucos (ASTM 152-H).
- f) Probeta de 1000 ml.
- g) Termómetro.
- h) Pipeta de 5 ml.
- i) Pizeta.
- j) Cronometro.

### **Tratamiento de cristalería**

Se procedió a lavar la cristalería primeramente con agua del grifo y detergente luego se hizo un tratamiento con Ácido Nítrico al 4%, luego se lavó con abundante Agua destilada y se secó en un Horno a 70 °C durante 2 horas.

### **Preparación de la muestra**

Los materiales utilizados en esta práctica fueron previamente preparados dejándolos limpios y libre de humedad.

La muestra fue previamente secada en una Plancha de Calentamiento, seguidamente fue triturada utilizando un Triturador de Mandíbulas y luego se hizo pasar por una Malla 2 mm utilizando solamente lo que paso a través de ella.

### **Digestión de la muestra**

- a) Se pesaron 50 gr de Suelo, secado al aire y Tamizado a través de una Malla de 2 mm, en el vaso de acero.
- b) Se añadieron 5 ml de Oxalato de Sodio y 5 ml de Hidróxido de sodio 1N y añada aproximadamente 60 ml de Agua destilada.
- c) Se colocaron en el Agitador y se dispersa durante 5 min.
- d) Se vertieron el contenido en una probeta de 1 lt. arrastrando todas las partículas con ayuda de la Pizeta, se completa con Agua destilada hasta 1 lt. tapar la Probeta y agitarla invirtiéndola hacia arriba y hacia abajo, por 12 veces (Aproximadamente 1min.), con el objeto de separar bien del fondo cualquier suelo que se haya sedimentado.
- e) Se dejó la Probeta sobre la mesa e inmediatamente después se comenzó a medir el tiempo de sedimentación poniendo en marcha el Cronometro. Si hubiese espuma agregue una gota de Alcohol Amílico sobre la superficie de la suspensión.



- f) Se sumergió cuidadosamente el Hidrómetro en la suspensión y tome la primera lectura a los 40 segundos ( $D_1$ ). Hacer la lectura en la escala a las 0.5 unidades más próximas en el tope del menisco y anular en el cuaderno: Hora, Lectura y Temperatura de la suspensión en ese momento.
- g) Se sacó cuidadosamente el Hidrómetro, se enjuagó y se colocó en una Probeta con agua des-ionizada.
- h) Unos 20-25 segundos antes de la Lectura correspondiente a las 2h ( $D_2$ ), introduzca nuevamente el Hidrómetro en la muestra y tome la lectura en el tope del menisco al tiempo indicado. Anote Hora, Lectura y Temperatura.

### Cálculos.

$$\%Limo + \%Arcilla = \frac{D_1 + (t - 20) \times 0.36}{50} \times 100$$

$$\% Arcilla = \frac{D_2 + (t' - 20) \times 0.36}{50} \times 100$$

$$\%Limo = D_1 - D_2$$

$$\%Arena = 100 - (\%Limo + \%Arcilla)$$

Donde:

t = Temperatura a los 40 segundos.

t' = Temperatura de las 2h.

0.36 = Factor de corrección por grado de diferencia de temperatura.

$D_1$  = Lectura a los 40 segundos.

$D_2$  = Lectura a las 2h.

## **Determinación de la Actividad Puzolánica mediante el Índice de Keil.**

### **Materiales y Reactivos**

- a) Molino de discos.
- b) Triturador de mandíbulas.
- c) Horno.
- d) Balanza.
- e) Tamiz de 45 micrones No. 325.
- f) Quebrador de rodillos.
- g) Mezcladora HOBART.
- h) Cámara de Curado
- i) Mesa de Flujo.
- j) Micron Hir-Jet. Para Tamices.
- k) Tamper
- l) Cuchara de Mesa
- m) Probeta de 250 ml.

### **Tratamiento de cristalería**

Se procedió a lavar la cristalería primeramente con agua del grifo y detergente luego se hizo un tratamiento con ácido nítrico al 4%, luego se lavo con abundante agua destilada y se seco en un horno a 70 °C durante 2 horas.

### **Preparación de la Muestra**

Los materiales utilizados en esta práctica fueron previamente preparados dejándolos limpios y libre de humedad. La muestra fue previamente secada en una plancha de calentamiento, seguidamente fue triturada utilizando un Triturador de Mandíbulas, seguidamente se pulverizó en un Molino de discos, y se hizo pasar por una Malla de 45 micrones hasta alcanzar un porcentaje de retenidos del 13%. De igual forma se trata la Arena Sílice. Así mismo se preparó una muestra de Cemento Pórtland para ser utilizado como estándar.

### **Preparación de los Cubos**

Utilizando una Cuchara de Mesa se llenó la mitad del Molde, luego se tampearon 4 veces por cada lado del cubo, o sea 16 veces por vuelta.

Luego se llenó el cubo y se tampearon nuevamente y de igual manera.

Se llenaron completamente los moldes y utilizando una cuchara de albañilería, se alisa la superficie.

Los moldes se almacenaron en una cámara húmeda, con una malla intermedia y en el fondo agua para mantener humedad y para garantizar una mejor Resistencia.

Al siguiente día se sacaron de los moldes y se sumergieron en agua para romper los Cubos en los siguientes períodos.

2 cubos en 7 días

2 cubos en 28 días

3 cubos en 56 días

2 cubos a 86 días

El Método utilizado especifica romper en periodos de 7,28 y 56 días, pero para mayor apreciación del comportamiento de las muestras se tomo la decisión de evaluar las resistencias a 84 días.

### **Procedimiento.**

- a) Se secó el Material Puzolánico, con el mismo método de determinación de humedad, con la diferencia de que se prepararon 6 Kg.
- b) Se trituró en el triturador de mandíbulas de donde sale con una granulometría de 100% de pasante en malla en malla #4.75 mm.
- c) Se colocó en el Pulverizador de discos, dejándolo con una finura de 13% aproximadamente en el tamiz de 45 micrones.
- d) Se pulverizaron de 5 a 6 Kg de arena sílice, con una figura igual a la Puzolana, que sirve material inerte.
- e) Se preparó una mezcla de 30% Puzolana y 70% Cemento.
- f) Se homogenizó y se realizaron cubos de acuerdo al método V.3.4.
- g) Se quebraron los cubos a 7, 28, 56 y 84 días.
- h) Se preparó una mezcla de 30% de Material Inerte y 70% Cemento.
- i) Se siguió el mismo procedimiento para Puzolana.
- j) Se preparó el Cemento Estándar (Clinker y yeso).
- k) Siguió el mismo procedimiento para Puzolana.

**Cálculos.**

$$IH = \frac{MR_{puz} (70\% pc + 30\% puz) - R_{qz} (70\% pc + 30\% qz)}{R_{pc} (100\%) - R_{qz} (70\% pc + 30\%)}$$

Donde:

R<sub>pc</sub>: Resistencia a la compresión del cemento estándar.

R<sub>puz</sub>: Resistencia a la compresión del cemento con la puzolana (material al que se le desea determinar el IH).

R<sub>qz</sub>: Resistencia a la compresión del cemento con cuarzo o material inerte.

IH: Índice de Keil.

El índice de Keil es una determinación del aumento del porcentaje de resistencia a la compresión el cual va ganando la toba mediante transcurre ciertos periodos de tiempo comparados con las resistencias ofrecidas a la compresión por el material inerte y el de referencia.

El índice de Keil clasifica a las tobas según su rendimiento de resistencias a la compresión.

<b>IH</b>	<b>Clasificación</b>
15-40	Pobre
48-55	Suficiente
55-85	Bueno
85-100	
>100	Excelente

## **Determinación de la Actividad Puzolánica mediante el método acelerado de la actividad Puzolánica por conductividad.**

### **Equipos y Reactivos**

- a) Carbonato de Calcio p. a.
- b) Solución saturada de Hidróxido de Calcio.
- c) Baño María, capaz de regular la Temperatura con un error no mayor de 2 °C.
- d) Conductímetro capaz de medir 10 mS como mínimo en su escala máxima.
- e) Mufla capaz de regular 900 C  $\pm$  20 °C.
- f) Balanza Analítica con 200gr. de Capacidad y 0.1 Mg de Sensibilidad.
- g) Crisol de Porcelana.
- h) Frascos Plásticos de 1lit. con Tapadera.
- i) Frascos Plásticos de 250 ml con Tapadera.
- j) Pipeta Volumétrica de 50 ml.
- k) Matraz de 100 ml.

### **Tratamiento de cristalería**

Se procedió a lavar la cristalería primeramente con agua del grifo y detergente luego se hizo un tratamiento con ácido nítrico al 4%, luego se lavó con abundante agua destilada y se secó en un horno a 70 °C durante 2 horas.

### **Preparación de la muestra**

Los materiales utilizados en esta práctica fueron previamente preparados dejándolos limpios y libre de humedad

La muestra fue previamente secada en una Plancha de Calentamiento, seguidamente fue triturada utilizando un Triturador de Mandíbulas y pulverizada utilizando un Molino Pulverizador de discos.

Posteriormente se midió la fineza haciéndose pasar la muestra por una Malla No. 200 aceptándose un máximo de retenido del 5%. Una vez obtenido el valor deseado la muestra se introdujo en un Horno a una Temperatura de 50°C durante 4 horas para eliminar humedad.

### **Digestión de la muestra**

- a) En un frasco plástico de 250 ml con contra tapa se colocó una alícuota de 100 ml. de solución saturada de hidróxido de calcio tomado con pipeta (previamente filtrada con papel de filtración rápida).
- b) Se tapó y se puso en baño maría regulado a 45 °C durante una hora.
- c) Después de poner el frasco en baño se añadieron 3.000 gr de muestra pesadas en Balanza Analítica.
- d) Se tapó y se agitó devolviendo el frasco al baño lo más rápidamente posible. Debe registrarse la hora en que se añadió la muestra ( $H_1$ ).

### **Preparación del blanco.**

- a) Para la Calibración del Conductímetro se tomó con la pipeta una alícuota de 50 ml. de solución de hidróxido de calcio saturada y filtrada.
- b) Se vertió en un matraz aforado de 100 ml. de capacidad.
- c) Se enrasó con agua destilada libre de dióxido de carbono y se agitó.
- d) El contenido del matraz se vertió en un frasco plástico con contratapa, limpio y seco.
- e) Se tapó y se puso en baño maría durante 1h.
- f) Después se midió la conductividad ( $L_1$ ).

**Mediciones.**

Una vez transcurridos 15 min desde que se puso el aditivo en el frasco debe leerse la conductividad en ambos frascos registrando la lectura del frasco que contiene la solución de calibración del equipo ( $L_1$ ). Se repite la lectura hasta que la muestra alcanza el mismo valor de la lectura ( $L_1$ ), que tenía la solución de calibración y se registró el tiempo ( $H_2$ ).

**Cálculos.**

$$t_{(\alpha=0.5,4.5)} = (H_2 - H_1)$$

Donde:

$H_2$ : Es la hora en que la muestra alcanza la conductividad que tenía la solución de calibración del equipo a inicio de las mediciones ( $L_1$ ).

$H_1$ : Es la hora registrada en el momento en que se introduce la muestra en frasco que contiene 100 ml. de solución saturada de hidróxido de calcio.



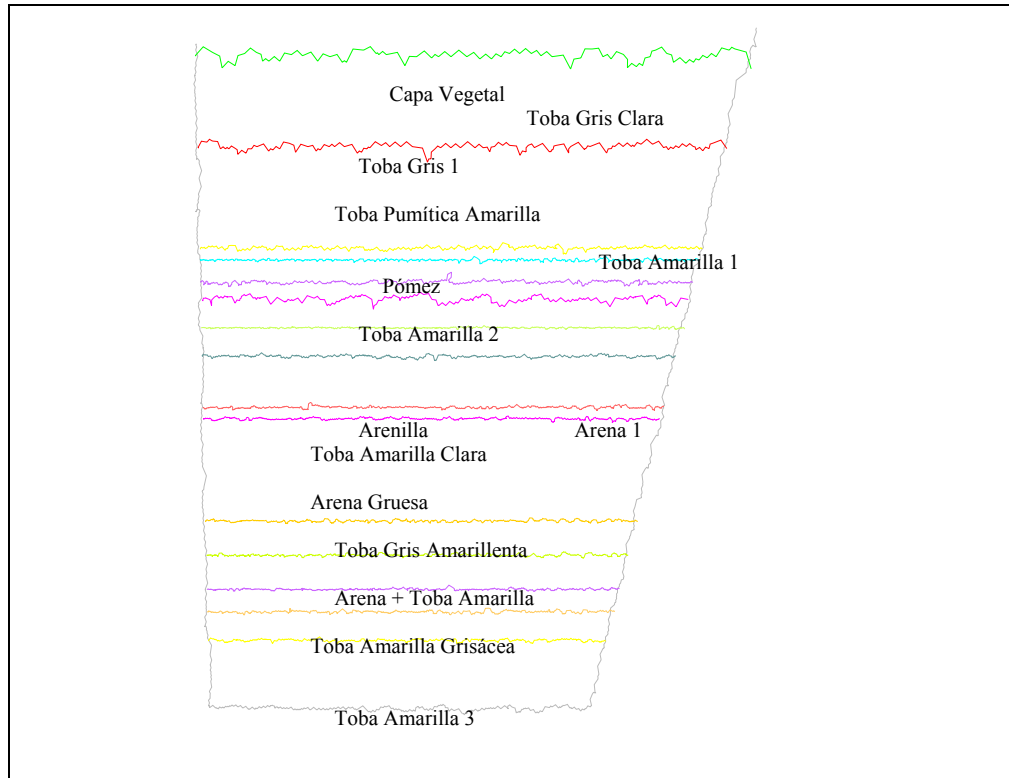
## VI. RESULTADOS Y ANÁLISIS

**Tabla No.3**  
**Clasificación y espesor de las Tobas muestreadas.**

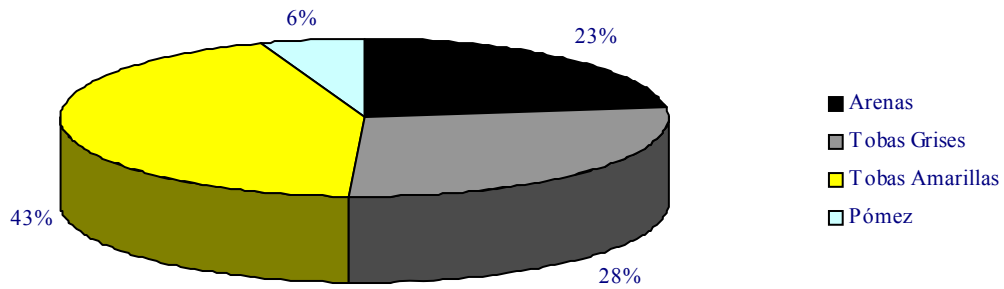
<b>Estrato No.</b>	<b>Espesor (mts)</b>	<b>Profundidad (mts)</b>	<b>Descripción (Color)</b>
1	1.60	0-1.60	Capa Vegetal
2	1.84	1.60-3.44	Toba Gris Clara
3	0.12	3.44-3.56	Toba Gris1
4	0.43	3.56-3.99	Toba Pumítica Amarilla Clara
5	0.25	3.99-4.24	Toba Amarilla 1
6	0.52	4.24-4.76	Pómez
7	0.51	4.76-5.27	Toba Amarilla 2
8	0.93	5.27-6.2	Arena 1
9	0.20	6.2-6.4	Arenilla
10	1.83	6.4-8.23	Toba Amarilla Clara
11	0.64	8.23-8.87	Arena Gruesa
12	0.62	8.87-9.49	Toba Gris Amarillenta
13	0.39	9.49-9.88	Arena 1 + Toba Amarilla.
14	0.47	9.88-10.35	Toba Amarilla Grisácea
15	-	10.35--	Toba Amarilla 3

Como podemos observar en la Tabla No. 3, se encuentran los datos recopilados en la toma de muestras y la caracterización por colores. Como resultado de esto se agruparon para sus Análisis en cuatro grupos individuales basándose en algunas características similares de color y textura. Se encontraron 6 tipos de Tobas Amarillas, 3 Tobas Grises, 1 Pómez, y 4 Arenas. En la Tabla 3 también se presentan los espesores y profundidad para cada una de las Tobas estudiadas.

**Figura No. 2**  
**Croquis del Perfil realizado al Cerro en explotación.**



En la figura No. 2 presentamos un perfil del área muestreada. En él podemos evaluar el espesor y profundidad de cada una de las tobas estudiadas. Podemos ver la mayor abundancia y gran profundidad presentada por las tobas amarilla, de igual manera las tobas grises presentan una gran profundidad, por el contrario de la pómez y las arenas que se encuentran dentro de las primeras capas. También podemos observar la distribución de las tobas amarillas por todo el corte, estando distribuidas por todas las regiones del corte.

**Gráfico No. 1****Abundancia relativa de las Tobas agrupadas según características de Color y Textura.**

En el gráfico No. 1 se presenta la abundancia relativa presentadas por las tobas estudiadas agrupadas según características similares de color y textura en cuatro diferentes grupos; Tobas Amarillas, Tobas Grises, Arenas y Pómez. Según el gráfico No. 1 las Tobas Amarillas son las más abundantes con un 43% de abundancia relativa, seguidas por las Tobas Grises con un 28% y luego por las Arenas con un 23% y por ultimo tenemos a las Pómez las cuales poseen un 6% de abundancia relativa.

**Tobas Amarillas****Tabla No. 4****Porcentaje de Óxidos de Silicio, Aluminio y Hierro de las Tobas Amarillas.**

<b>Toba</b>	$Fe_2O_3$	$Si_2O_4$	$Al_2O_3$
Pumítica Amarilla Clara	3.1	53.8	3.8
Amarilla 1	3.1	56.4	4.1
Amarilla 2	4.5	52.15	3.75
Amarilla Clara	5.8	63.3	7
Amarilla Grisácea	5.6	48.6	3.25
Amarilla 3	6.4	43.55	3.65
<b>Estándar</b>	<b>3</b>	<b>21.6</b>	<b>4.2</b>

En la Tabla No. 4 observamos que las tobas amarillas contienen un porcentaje alto de óxido de silicio, comparando este valor con el estándar utilizado; Estando esto de acuerdo con su origen vitro clástico, de la misma manera el porcentaje de óxido de hierro es alto, tomando en cuenta el estándar, esto esta de acuerdo con la coloración amarillenta de las tobas, sin embargo podemos también adjudicar este color al proceso de intemperización teniendo esto como consecuencia la producción de residuo arcilloso el cual también es rico en hierro y aluminio, esto produce también la desvitrificación del vidrio. Es de esperarse que contenga un porcentaje alto de arcilla. El contenido de óxido de aluminio de las tobas amarillas es un poco bajo. Eliminando la posibilidad de la producción de arcilla rica en aluminio, mediante intemperización.

**Tabla No. 5**  
**Porcentaje de Arcilla de las Tobas Amarillas.**

<b>Toba</b>	<b>% de Arcilla</b>
<b>Toba Pumítica Amarillenta</b>	9.4
<b>Toma Amarilla 1</b>	5.0
<b>Toba Amarilla 2</b>	6.3
<b>Toba Amarilla Clara</b>	11
<b>Toba Amarilla Grisácea</b>	9.0
<b>Toba Amarilla 3</b>	9.76

En la Tabla No. 5 observamos que el contenido de arcilla presentado por las tobas amarillas es muy alto, tomando en cuenta que las arcillas son además de un contaminante, un producto de la degradación de las tobas, solamente las tobas amarillas 1 y 2 presentan un contenido de arcilla por debajo de los 7%, estando esto de acuerdo con la coloración amarillenta presentada por las tobas lo cual como dijimos anteriormente se debe a la producción de arcilla por intemperización, la cual como vimos es una arcilla que presenta un nivel bajo en aluminatos ( según aluminio total), por lo que se esperan altas resistencias a la compresión.

**Tabla No. 6**  
**Actividades presentadas por las Tobas Amarillas.**

<b>Toba</b>	<b>Actividad</b>
<b>Toba Pumítica Amarillenta</b>	Muy Activa
<b>Toba Amarilla 1</b>	Muy Activa
<b>Toba Amarilla 2</b>	Aceptable
<b>Toba Amarilla Clara</b>	Muy Activa
<b>Toba Amarilla Grisácea</b>	Aceptable
<b>Toba Amarilla 3</b>	Muy Activa

Como podemos observar en la Tabla No. 6 de las actividades presentadas por las tobas amarillas son Muy Activas en su mayoría, siendo solamente las tobas amarillas 2 y amarilla grisácea las que presentaran una actividad aceptable.

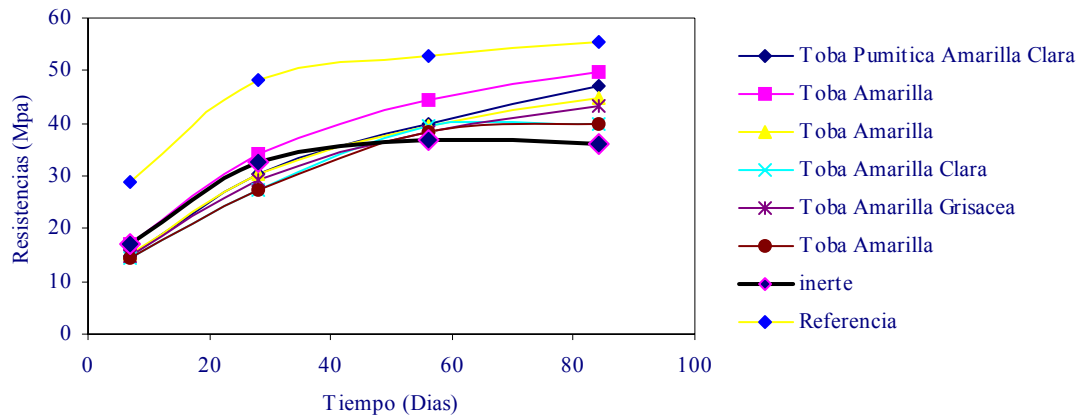
Estando esto de acuerdo con su nivel de aluminio, el cual es bajo para la mayoría de ellas, solamente habría que observar el comportamiento de las tobas amarillas 2 y amarilla grisácea en sus resistencias.

**Tabla No. 7**  
**Índice de Keil presentado por las tobas amarillas.**

<b>Toba</b>	<b>IH 7 días</b>	<b>IH 28 días</b>	<b>IH 56 días</b>	<b>IH 84 días</b>	<b>Calificación Para 84 días</b>
Toba Pumítica Amarillenta	-18.64	-13.84	18.75	57.29	Bueno
Toba Amarilla 1	-1.69	9.43	48.75	71.35	Bueno
Toba Amarilla 2	-16.10	-14.47	18.13	46.35	Suficiente
Toba Amarilla Clara	-23.72	-33.3	-11.25	19.27	Pobre
Toba Amarilla Grisáceo	-17.79	-20.75	10	37.5	Pobre
Toba Amarilla 3	-21.18	-31.44	10.63	19.79	Pobre

En la tabla No. 7 se evaluó el índice de Keil presentado por las tobas amarillas, bibliográficamente se estableció que las tobas ofrecen altas resistencias a la compresión en periodos largos de tiempo es por ello que se tomo como valor referencia para dictar una calificación final de las tobas las resistencias presentadas a 84 días, siendo este satisfactorio para las tobas amarillas pumíticas, amarillas 1 y amarillas 2 presentando resultados buenos y suficientes; por el contrario de las tobas amarilla clara, amarilla grisáceo y amarilla 3 presentando resultados pobres de resistencias.

**Gráfico No. 2**  
**Comparación de las Resistencias Obtenidas a 7, 28, 56 y 84 días de las Tobas**  
**Amarillas con la Muestra Inerte.**



Como vemos en el gráfico No. 2 las resistencias presentadas por las tobas amarillas están por encima de las obtenidas por la muestra inerte. Únicamente en los primeros resultados obtenidos, que corresponden a las resistencias a 7 y 28 días están un poco por debajo del inerte pero la característica de las tobas es presentar altas resistencia a largos plazo de tiempo, y esto se hace visible a los 56 días y más a los 84 días de haberse preparado. Observando el gráfico No. 2 también nos damos cuenta por la forma de la curva que las resistencias a la compresión que presentan las tobas amarillas tienden a seguir aumentando mientras transcurra más tiempo, no obstante las resistencias presentadas por el inerte tienden a disminuir.



### VI.3 Tobas grises

**Tabla No. 8**

**Porcentaje de Óxidos de Silicio, Aluminio y Hierro presentado por las Tobas Grises.**

<b>Tipo de Toba</b>	$Fe_2O_3$	$Si_2O_4$	$Al_2O_3$
Toba Gris Clara	3	50.4	4.05
Tobas Gris 1	4.4	58.45	4.05
Tobas Gris Amarillenta	5.6	54.3	3.4
<b>Estándar</b>	<b>3</b>	<b>21.6</b>	<b>4.2</b>

Como podemos observar en la tabla No. 8 el contenido de óxidos de silicio de las tobas grises es bastante alto tomando en cuenta la concentración del estándar utilizado, debido a su naturaleza vitro clástica, del mismo modo posee un alto contenido de óxido de hierro, sin embargo presenta un contenido de óxido de aluminio similar con el estándar utilizado, esto nos llevaría a esperar moderadas resistencias y actividades, debido a que el alto nivel de silicio proporciona altas resistencias y muy activas actividades, pero posee niveles moderados de aluminio por lo se espera que disminuyan un poco las resistencias y actividades

**Tabla No. 9**  
**Porcentaje de Arcilla presentado por las Tobas Grises.**

<b>Tobas</b>	<b>% de Arcilla</b>
Toba Gris Clara	9.96
Toba Gris	4.32
Toba Gris Amarillenta	6.04

Como vemos en la tabla No. 9 el contenido de material arcilloso de las tobas grises es alto muy únicamente para la toba gris clara, con un valor de casi de 10% de arcilla, esto es únicamente debido a la erosión y redepositación de material arcilloso, que fácilmente es trasportado por los agentes externos como el viento, ya que la desvitrificación no es un factor a tomar en cuenta por que aun conserva su coloración original. Además el contenido de material arcilloso encontrado concuerda con el moderado nivel de aluminio y los altos contenidos de hierro obtenidos, debido a que las arcillas contienen altos niveles de estos; aluminio como componente y hierro como impureza. Sin embargo para las tobas gris y gris amarillenta se mantiene por de bajo del 6.04 %.

**Tabla No. 10**  
**Actividades presentadas por las Tobas Grises.**

<b>Tipo de Toba</b>	<b>Actividad</b>
Toba Gris Clara	Aceptable
Toba Gris 1	Buena
Toba Gris Amarillenta	Aceptable

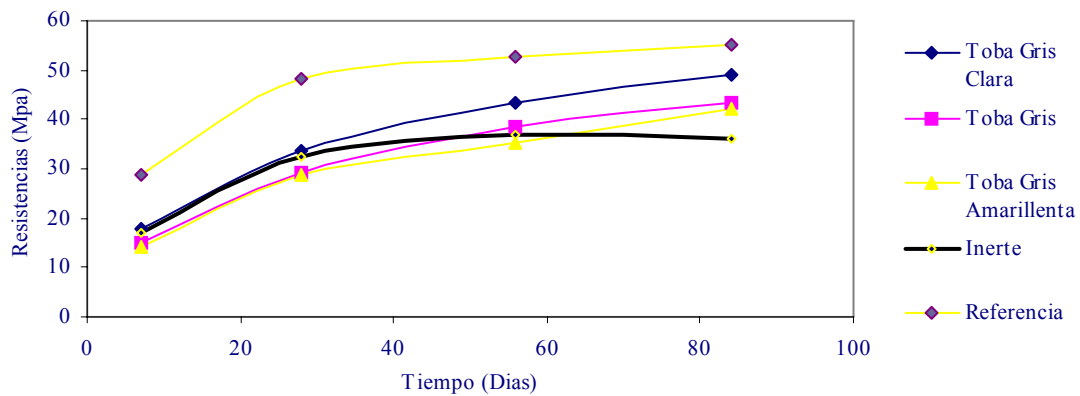
Como observamos en la tabla No. 10 las actividades presentadas por las tobas grises en su mayoría son aceptables, esto se debe al contenido de aluminio que presentaron, el cual tuvo mas efectos en las tobas gris clara y gris amarillenta por tener un mayor contenido de arcillas que es donde se encuentra el aluminio, la toba gris 1 presento una actividad buena, lo cual se debe a que posee un bajo contenido de arcilla, aunque esta toba presenta niveles de aluminio alto, se cree que es debido a la naturaleza del aluminio encontrado. Por lo cual no tendrá efectos inhibidores en la producción del gel cementante.

**Tabla No. 11**  
**Índice de Keil presentadas por las Tobas Grises a 7, 28, 56 y 84 días.**

Tipo de Toba	IH 7 días	IH 28 días	IH 56 días	IH 84 días	Calificación Para 84 días
Toba Gris Clara	5.93	6.28	40.63	67.18	Bueno
Toba Gris	-19.49	-20.13	11.88	38.54	Pobre
Toba Gris Amarillenta	-24.57	-27.04	2.5	30.73	Pobre

En la tabla No. 11 se evalúa el índice de Keil presentado por las tobas grises, bibliográficamente se estableció con las tobas tienden a aumentar las resistencias a medida que aumenta el tiempo, la toba gris clara presento un índice de Keil positivo en todo los periodos de tiempo evaluados, presentando finalmente un porcentaje de resistencia bueno; Por el contrario de las tobas grises y tobas gris amarillenta las cuales presentan un porcentaje de resistencias pobre.

**Gráfico No. 3**  
**Comparación de las Resistencias obtenidas a 7, 28, 56 y 84 días de las Tobas Grises con la Muestra Inerte.**



Como podemos observar en el gráfico No. 3 las tobas grises tienden a aumentar sus resistencias a medida que aumenta el tiempo mientras que la muestra inerte comienza a disminuir. Durante el periodo de 7 días en adelante las resistencias presentadas por las tobas grises inician a aumentar de manera acelerada alejándose luego de manera significativa del inerte y observando la curva podemos ver que tiende a seguir aumentando.

**Arenas.****Tabla No. 12****Porcentaje de Óxidos de Hierro, Silicio y Aluminio presentados por las Arenas.**

<b>Toba</b>	$Fe_2O_3$	$Si_2O_4$	$Al_2O_3$
Arena 1	4.45	51.75	4.05
Arenilla	7.1	55.8	5.55
Arena Gruesa	5.95	61.85	5.95
Arena 1+ Toba Amarilla	5.95	51.65	3.55
<b>Estándar</b>	<b>3</b>	<b>21.6</b>	<b>4.2</b>

Como podemos ver en la tabla No. 12 el contenido de óxido de silicio de las arenas es muy alto, esto esta de acuerdo con el origen de las arenas, las cuales son rocas sedimentarias con altos contenidos de silicatos pero se comportan de manera diferente a los silicatos presentes en las tobas debido a su gran estabilidad. El contenido de óxido de hierro las arenas es muy alto, de la misma manera que el contenido de aluminio comparando esto con los estándares utilizados.

**Tabla No. 13**  
**Determinación de la Fracción Arcillosa**

<b>Toba</b>	<b>% de Arcilla</b>
<b>Arena 1</b>	9.04
<b>Arenilla</b>	7.68
<b>Arena Gruesa</b>	5.04
<b>Arena 1+ Toba Amarilla</b>	5.6

Como se puede observar en la tabla No. 13 el contenido de material arcillo en las arenas es alto tal y como se esperaba debido al origen sedimentario de las arenas, las cuales se encuentran íntimamente ligados a las arcillas por redepositación y erosión. Sin embargo para las arena gruesa y las arena 1 + toba amarilla los contenidos de arcilla son moderados.

**Tabla No. 14**  
**Determinación de las Actividades Puzolánicas.**

<b>Toba</b>	<b>Actividad</b>
<b>Arena 1</b>	Muy Activa
<b>Arenilla</b>	Muy Activa
<b>Arena Gruesa</b>	Aceptable
<b>Arena 1+ Toba Amarilla</b>	Aceptable

Como observamos en la tabla No. 14 las actividades presentadas por las arenas son aceptables para la arena gruesa y la arena 1 + toba amarilla, sin embargo para las arenas 1 y arenillas son muy activas. El comportamiento de las arenas que presentaron actividades muy altas esta fuera de lo normal debido a la naturaleza de los silicatos presentes en ellas de ser muy inertes, además presentan altos niveles de arcilla lo cual conllevaría a presentar actividades pobres a como lo presentan las demás arenas. Para evaluar mejor su comportamiento daremos más relevancia a los análisis de las resistencias.

**Resistencias.**

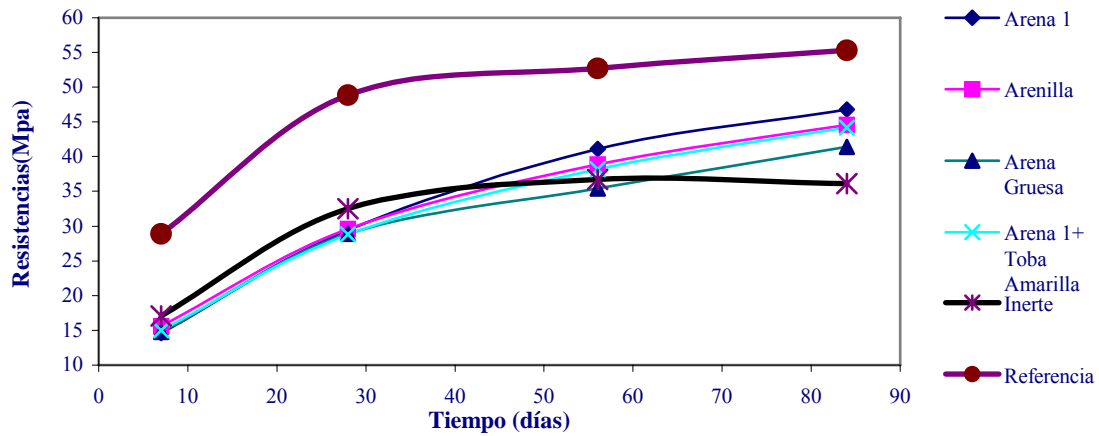
**Tabla No. 15**  
**Resistencias (Mpa) presentadas por las Arenas.**

<b>Toba</b>	<b>IH 7 días</b>	<b>IH 28 días</b>	<b>IH 56 días</b>	<b>IH 84 días</b>	<b>Calificación</b>
Arena	-21.19	-19.50	27.5	55.73	Bueno
Arenilla	-12.71	-18.24	13.75	44.27	Suficiente
Arena Gruesa	-19.49	-22.64	-8.75	27.60	Pobre
Arena 1+ Toba Amarilla	-17.80	-23.27	9.37	42.18	Suficiente

En la tabla No. 15 se presentan los índices de Keil presentados por las Arenas los cuales fueron evaluados a 7, 28 56 y 84 días, los cuales clasificados a 84 días según su porcentaje de resistencias califican a las Arena 1 con un porcentaje bueno de resistencias, a la Arenilla con un porcentaje Suficiente, a la Arena Gruesa con un porcentaje pobre y a la Arena 1 + Toba Amarilla con un porcentaje de suficiente de resistencias a la compresión.

**Gráfico No. 4**

**Comparación de las Resistencias obtenidas a 7, 28, 56 y 84 días de las Arenas con la Muestra Inerte.**



Como podemos observar en el gráfico No. 3 las resistencias obtenidas por las arenas están solo un poco por encima de la muestra inerte, teniendo solo un pequeño incremento en los valores obtenidos a 84 días con tendencias a mantenerse así y no seguir aumentando. Solo una de las arenas evaluadas presenta un salto gigantesco en los niveles de resistencias pero que luego decae grandemente. Adjudicamos este incremento en la resistencia a un comportamiento irregular de las arenas.



**Pómez.****Tabla No. 16****1 Porcentaje de óxidos de Silicio, Aluminio y Hierro de la Pómez.**

<b>Toba</b>	$Fe_2O_3$	$Si_2O_4$	$Al_2O_3$
Pómez	3.365	55.65	5.25
Estándar	3	21.6	4.2

Como vemos en la tabla No.16 el contenido de óxido de silicio de la pómez esta de acuerdo con su naturaleza vitro clástica de las tobas, habiéndose establecido ya que las pómez son un tipo de toba, solo que con una textura porosa diferente. Posee también en alto contenido de hierro y aluminio debido a su alto contenido de arcilla.

**Tabla No. 17****Fracción Arcillosa.**

<b>Toba</b>	<b>% de Arcilla</b>
Pómez	10.8

El contenido de arcilla de la pómez es alto, es por ello que posee altos niveles de aluminio, esto se debe a la erosión y redepositación.

**Tabla No. 18**  
**Actividad Puzolánica**

Actividad	Toba
Aceptable	Pómez

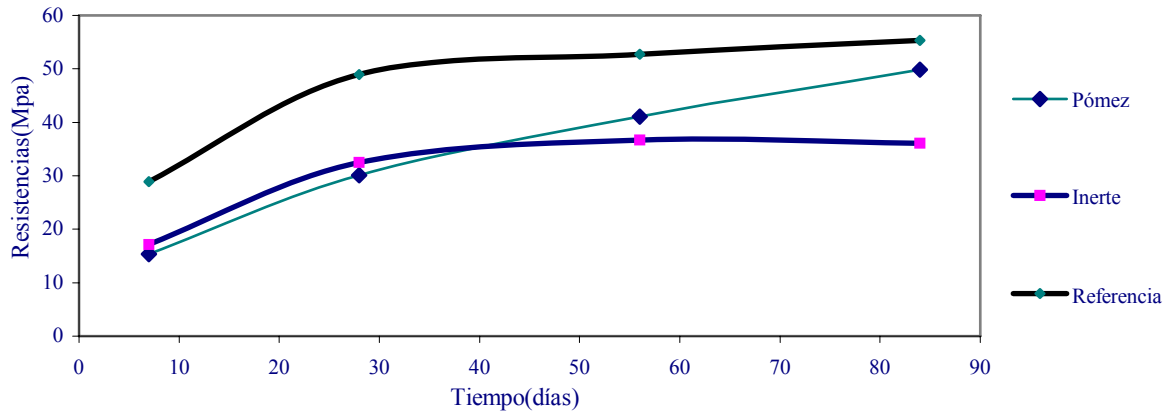
La actividad presentada por la pómez es aceptable debido a su alto contenido de arcilla por lo cual es alto su contenido de aluminio, el que se comporta como un inhibidor de la actividad.

**Tabla No. 19**  
**Resistencias (Mpa)**

<b>Toba</b>	IH 7	IH 28	IH 56	IH 84
	días	días	días	días
Pómez	-15.25	-15.09	27.5	51.56

En la tabla No. 19 se evaluó el índice el Keil presentado por la Pómez la cual presento un porcentaje suficiente de resistencias.

**Gráfico No.5**  
**Comparación de las Resistencias obtenidas a 7, 28, 56 y 84 días de la Pómez con la Muestra Inerte.**



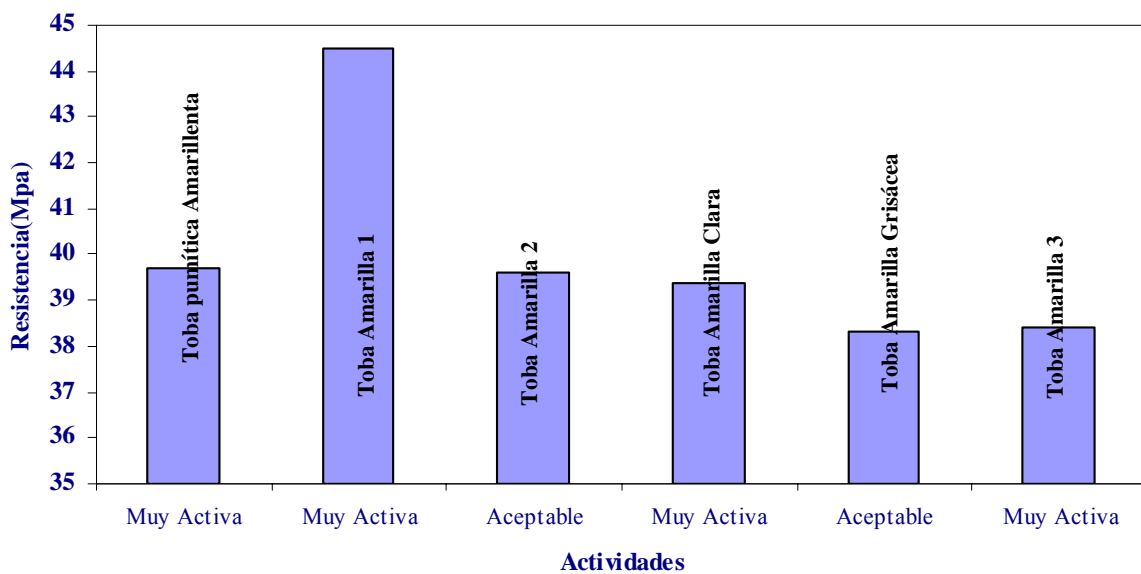
Como podemos observar en el gráfico, las resistencias presentadas por la pómez desde el día 7 inician un interminable incremento, hasta llegar a superar las presentadas por la muestra inerte, con tendencia a seguir aumentando.

## VI. ANÁLISIS COMPARATIVOS DE LAS TOBAS ESTUDIADAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS RESISTENCIAS CON LOS DEMÁS PARÁMETROS.

### Tobas Amarillas

**Grafico No.5**

**Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. Las Actividades Presentadas por las Tobas Amarillas.**



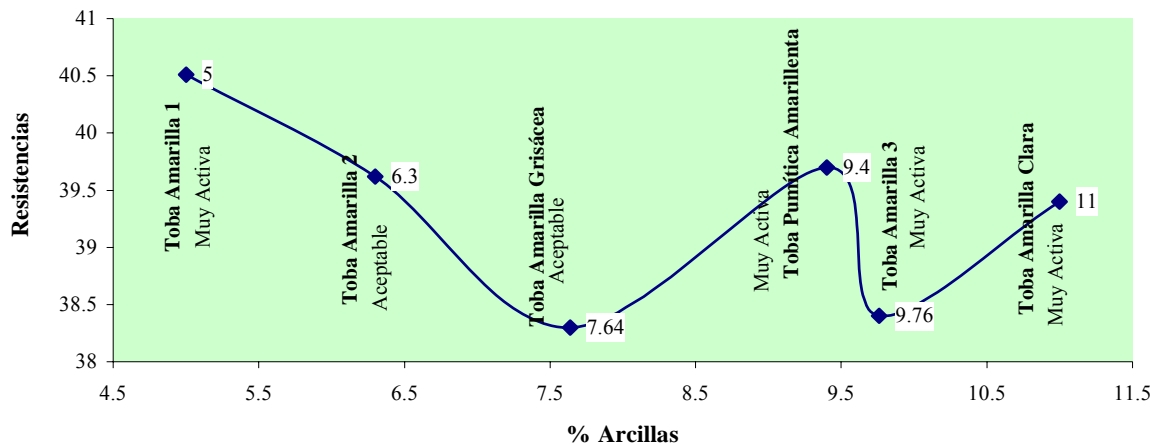
En el gráfico No. 5 se comparan los resultados obtenidos en la determinación de las actividades puzolánicas de las tobas amarillas, por el método químico de Conductimetría y el método físico Índice de Keil. Como podemos observar no existe ninguna relación en los resultados obtenidos de ambos análisis. Teóricamente las tobas que presentan actividades muy altas, deben presentar también altas resistencias; pero experimentalmente se encuentra que en el caso de las tobas amarillas no hay concordancia entre las resistencias y las actividades, probablemente por el origen del material analizado. Sin embargo experimentalmente se encuentra que las tobas amarillas 2 a pesar de tener una resistencia en el nivel de muy activa, se encuentra que por Conductimetría es apenas aceptable a diferencia de las Toba Pumítica Amarilla.

Esto puede estar relacionado a las diferencias significativas de errores de ambos métodos, ya que en análisis acelerados, el error es mayor. El mismo caso se repite en la toba amarilla Grisácea y amarilla 3.

Aplicando los criterios de la Empresa, el parámetro más importante para la actividad es la resistencia por lo que podemos decir que las tobas amarilla 1, Pumítica, amarilla 2, y amarilla clara, son muy activas

**Grafico No. 6**

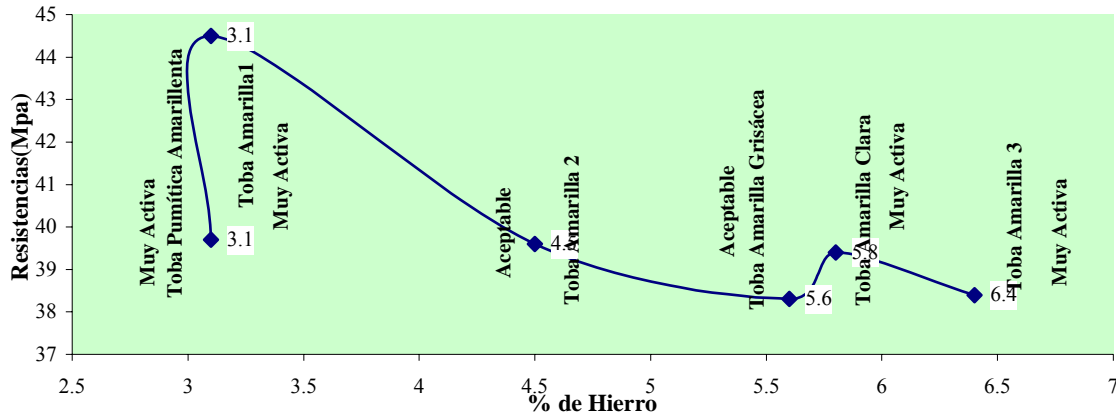
**Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El Contenido de Arcilla Presentado por las Tobas Amarillas.**



Como podemos ver en el grafico No. 6 existe una relación directa entre el contenido de arcilla y las resistencias presentadas, a medida que aumenta en las tobas el porcentaje de arcilla la resistencia disminuye, lo que concuerda con los datos prácticos registrados en diferentes fuentes bibliográficas, pero en el caso de las tobas amarillas grisáceas y amarillas 3 no hay una concordancia, debido probablemente a que la naturaleza de la arcilla es distinta por la presencia de algún tipo de mineral, de la desvitrificación de los minerales de Silicio que se da por la intemperización, que influye en las Resistencias por lo que se requiere hacer una caracterización mas afondo de las mismas.

**Grafico No. 7**

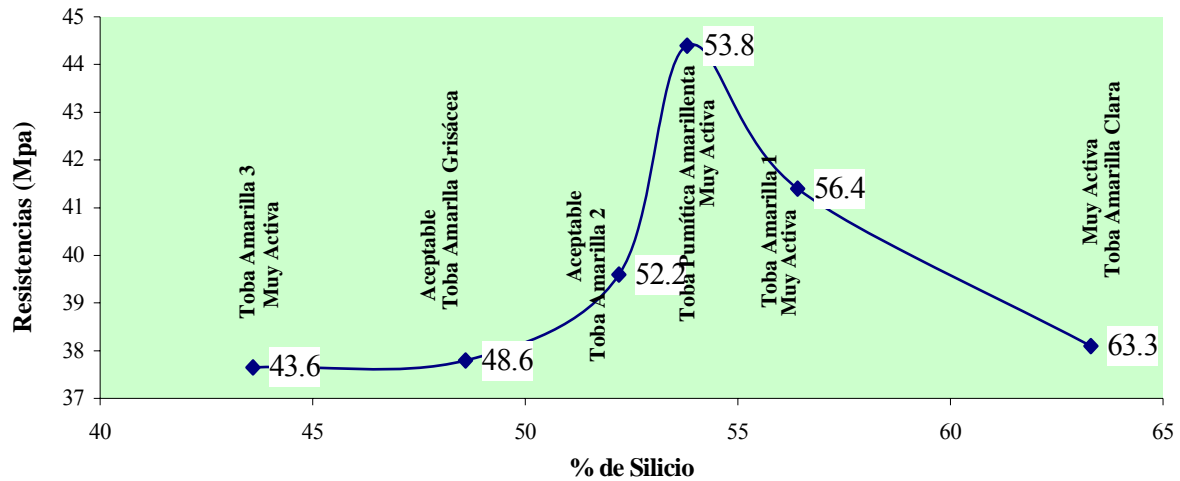
**Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El Contenido de Óxido de Hierro Presentadas por las Tobas Amarillas.**



En el gráfico No.7 se estudia la influencia que tiene el contenido de Hierro en las Resistencias presentadas por las tobas Amarillas para ver si existe alguna dependencia, encontrándose experimentalmente que permanece sin variación apreciable, si embargo, se observa un comportamiento atípico para las Tobas Amarilla 1, Amarilla Clara y Amarilla 3, encontrándose en valores cercanos a los de las resistencias estudiadas inicialmente para las demás tobas. Por lo que podemos concluir que no existe influencia del contenido de Óxido de Hierro con las Resistencias.

## Gráfico No. 8

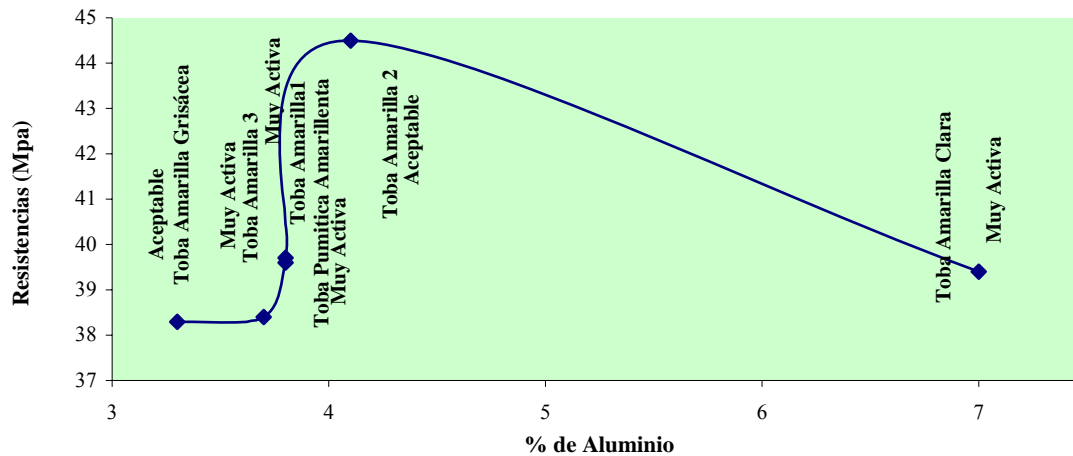
**Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El Contenido de Óxido de Silicio Presentadas por las Tobas Amarillas.**



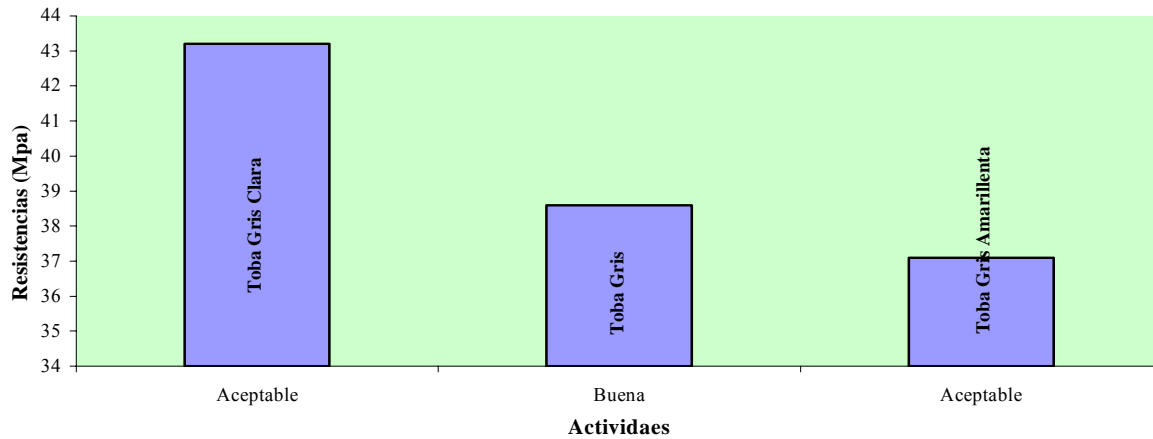
En el gráfico No. 8 se representa la relación que tiene el contenido de oxido de silicio con las resistencias, según los datos recopilados varían directamente proporcional con las resistencias, es decir, el contenido de oxido de silicio es el responsable de que las tobas presenten una alta resistencia. Si embargo, podemos observar un punto atípico en la toba amarilla 2 y Amarilla Clara que no se corresponde con los demás valores obtenidos debido a que las redes tetraédricas del oxido de silicio pueden deformarse y formar diferentes tipos de materiales.



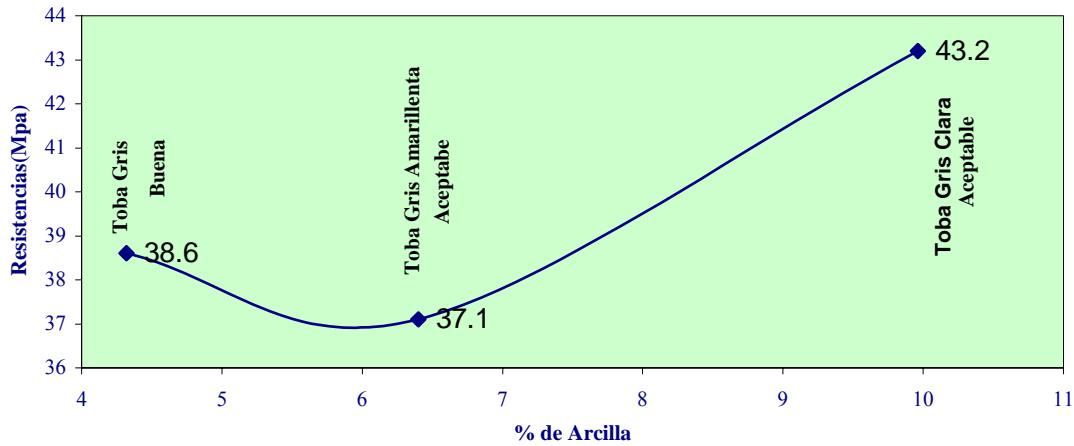
**Gráfico No. 9**  
**Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El Contenido de Óxido de Aluminio presentadas por las Tobas Amarillas.**



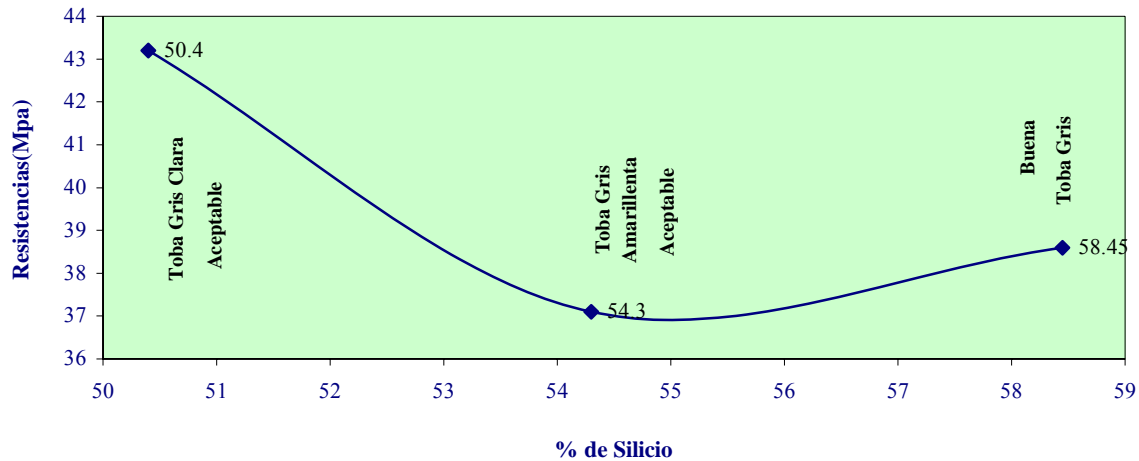
En el gráfico No. 9 se observa la relación que existe entre las Resistencias presentadas por las Tobas Amarillas y su contenido de Óxido de Aluminio, según los reportes bibliográficos el Óxido de Aluminio es un inhibidor de las Resistencias debido a que sustituye al Silicio en los tetraedros de Óxidos de Silicio quedando una carga negativa libre absorbiendo los átomos de Calcio liberados de la hidratación del Clinker impidiendo así la formación del Gel cementante; Esta en concordancia con los datos obtenidos experimentalmente debido a que el contenido de Óxido de Aluminio aumenta a medida que disminuyen las Resistencias, sin embargo, se puede observar que existen dos puntos que no concuerdan que corresponden a la Toba Amarilla Clara y a la Toba Amarilla 3, esto se debe a la naturaleza del Óxido de Aluminio presente, ya que solamente el Óxido de Aluminio de naturaleza Arcillosa inhibe las Resistencias, y el análisis realizado nos informa solamente de contenido total de Óxido de Aluminio y no de su naturaleza.

**Tobas Grises.****Gráfico No. 10****Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. Las Actividades Presentadas por las Tobas Grises.**

En el gráfico No. 10 se observa la relación que existe entre las Resistencias presentadas por las Tobas Grises y sus Actividades, según con la literatura ambos análisis son para determinar las Actividades, por lo tanto aquellas tobas que manifiestan una Actividades “Buena” presentarían altas Resistencias a la compresión, y aquellas Tobas que manifiesten Actividades “Aceptables” presentarían Resistencias a la compresión menores, sin embargo, los resultados obtenidos experimentalmente demuestran que no se cumple esta relación, en vista de que con una Resistencias tan alta se espera que tenga una Actividad alta sin embargo el Análisis de Actividad revela que es “Aceptable”; en la Toba Gris Amarillenta también se presenta un comportamiento poco común, solamente en la Toba Gris ambos parámetros se correlacionan. Estas diferencias probablemente son debido a la naturaleza de cada una de ellas.

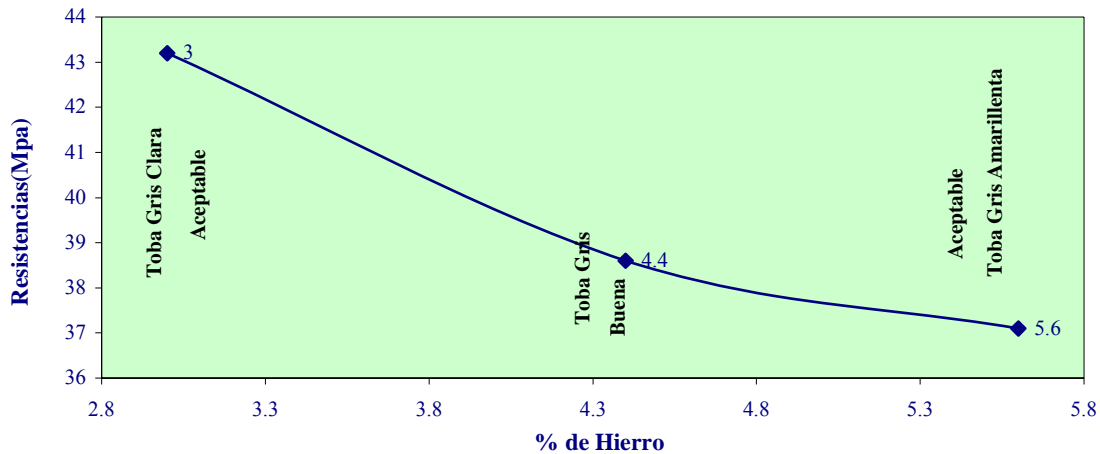
**Gráfico No. 11****Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El contenido de Arcilla Presentado por las Tobas Grises.**

En el gráfico No.11 se observa la relación que existe entre las Resistencias presentadas por las Tobas Grises y su contenido de Arcilla, según la revisión bibliográfica la Arcilla es un inhibidor de las Resistencias, por lo tanto aquellas tobas que presentan altos contenidos de Arcilla deben presentar bajas Resistencias a la compresión, sin embargo, los resultados obtenidos experimentalmente muestran que para la Toba Gris Clara existe un desacuerdo debido a que presenta un elevado contenido de Arcilla y a la vez manifiesta una alta Resistencia a la compresión, esto se debe a que existen diferentes tipos de Arcilla, los cuales varían significativamente en su contenido de Aluminio, que es el que afectan directamente a las Resistencias, por otro lado el análisis realizado revela solamente el contenido total de Arcilla no se puede comprobar cual es el tipo de Arcilla que contienen cada una de las Tobas.

**Gráfico No. 12****Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El contenido de Óxido de Silicio Presentados por las Tobas Grises.**

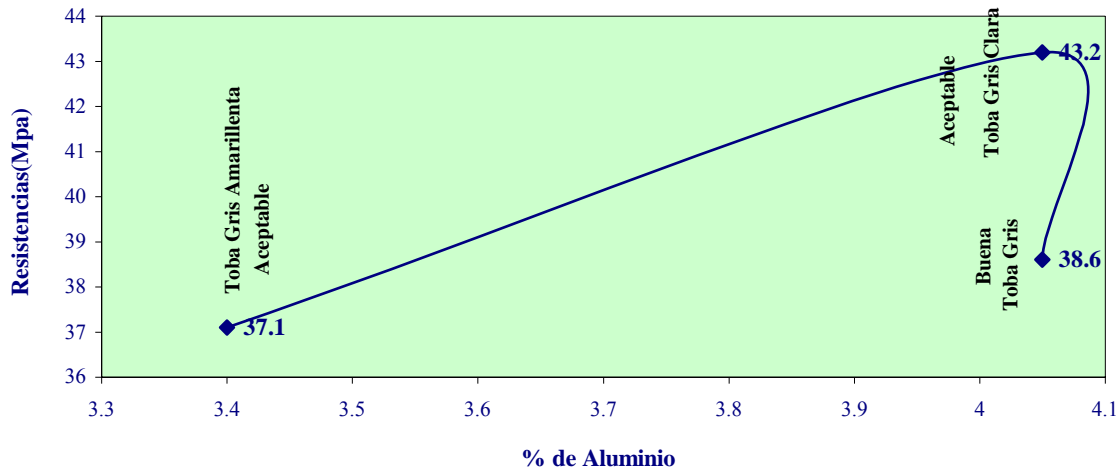
En el gráfico No.12 se observa la relación que existe entre las Resistencias presentadas por las Tobas Grises y su contenido de Silicio, que según la teoría es el responsable de producir el Gel cementante que proporciona la propiedad de ofrecer Resistencias a la compresión, es decir, aquellas Tobas que presenten altas Resistencias deben manifestar un alto contenido de Silicio, sin embargo, experimentalmente se demuestra que las Tobas Gris 1 y Gris Amarillenta presentan bajas resistencias no obstante manifiestan un elevado contenido de Silicio, de igual forma la Toba Gris Clara presenta una muy alta Resistencia a la compresión sin embargo su contenido de Óxido de Silicio es bajo; esto se debe probablemente a la naturaleza del Óxido de Silicio presente en ellas, ya que el análisis realizado solamente revela el contenido total de Óxido de Silicio.

Gráfico No. 13

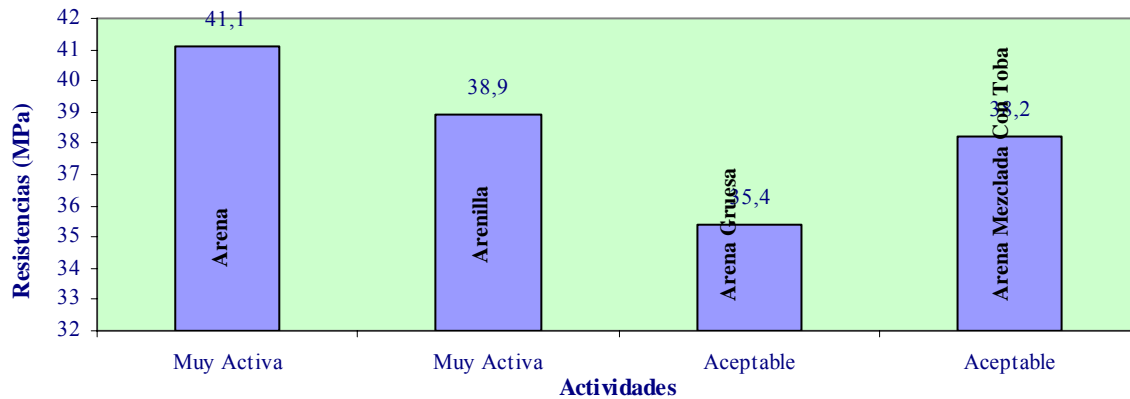
**Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El contenido de Óxido de Hierro Presentado por las Tobas Grises.**

En el gráfico No. 13 se evaluó la influencia que tiene el contenido de Hierro en las Resistencias presentadas por las Tobas Grises con el objetivo de vislumbrar si existe alguna dependencia. Según los resultados obtenidos experimentalmente se demostró que si existe una dependencia entre el contenido de Óxido de Hierro y las Resistencias presentadas por las Tobas Grises, es decir guardan una relación inversa, porque a medida que aumenta el contenido de Óxido de Hierro disminuyen considerablemente las Resistencias presentadas por las Tobas Grises, por tanto existe una relación directa entre el contenido de Hierro y las Resistencias, lo que indica que el Hierro de alguna manera influye en la calidad del Cemento.

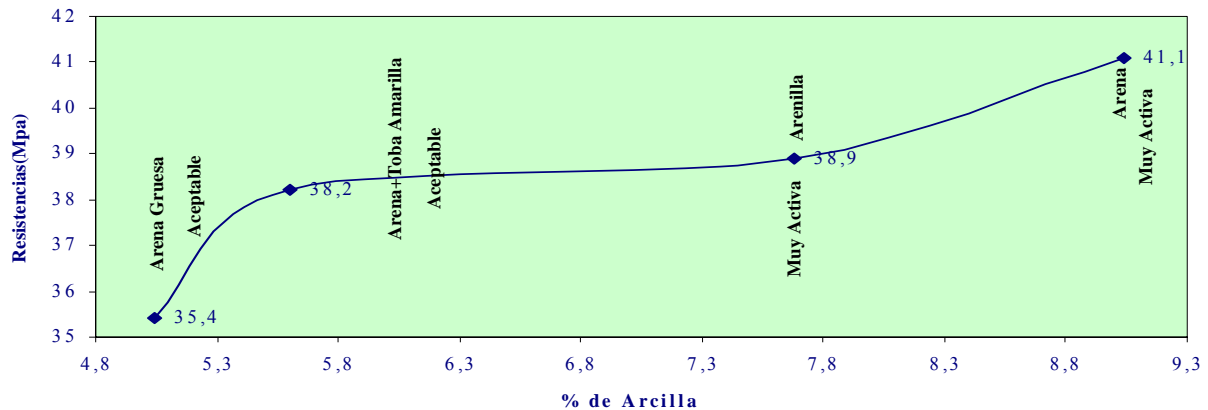
**Gráfico No. 14**  
**Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El contenido de Óxido de Aluminio presentadas por las Tobas Grises.**



En el gráfico No. 14 se observa la relación que existe entre las Resistencias presentadas por las Tobas Grises y su contenido de Óxido de Aluminio, según lo recopilado el Óxido de Aluminio es inhibidor de las Resistencias debido a que sustituye al Silicio en los tetraedros de Óxidos de Silicio quedando una carga negativa libre absorbiendo los átomos de Calcio liberados en la hidratación del Clinker impidiendo así la formación del Gel cementante; según los resultados obtenidos experimentalmente se demuestra que no existe una dependencia entre el contenido de Óxido de Aluminio y las Resistencias presentadas por las Tobas Grises, porque como podemos observar la Toba Gris Amarillenta manifiesta bajas Resistencias y un bajo contenido de Aluminio, sin embargo la Toba Gris 1 presenta casi la misma Resistencia y un contenido elevado de Aluminio, entonces podemos decir que esto se debe a la naturaleza del tipo de Aluminio que contiene cada una de las Tobas analizadas, no obstante como no se realizó una caracterización de los minerales en las Tobas se tendría que realizar un análisis de Difracción de Electrones para encontrar una explicación más acertada para tal comportamiento.

**Arenas.****Gráfico No. 15****Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. Las Actividades Presentadas por las Arenas.**

En el gráfico No.15 se observa la relación que existe entre las resistencias presentadas por las arenas y sus actividades, debido a que las arenas son rocas sedimentarias y no rocas piro clásticas, es posible encontrar algunas diferencias en su comportamiento, es decir, que no necesariamente se comportaran muy de acuerdo con los reportes experimentales en otros estudios, sin embargo, experimentalmente se comportan de manera parecida a las rocas piro clásticas, por lo menos para el análisis de actividades vs. Resistencias, debido a que aquellas arenas que presentan altas resistencias a la compresión manifiestan muy altas actividades, y aquellas que tienen bajas resistencias manifiestan actividades aceptables, lo que concuerda con estudios realizados. El material arenoso no se utiliza para obtener Cementos de buena calidad, sin embargo en este estudio hay dos tipos de arenas que aparentemente podrían usarse para adicionar al Cemento.

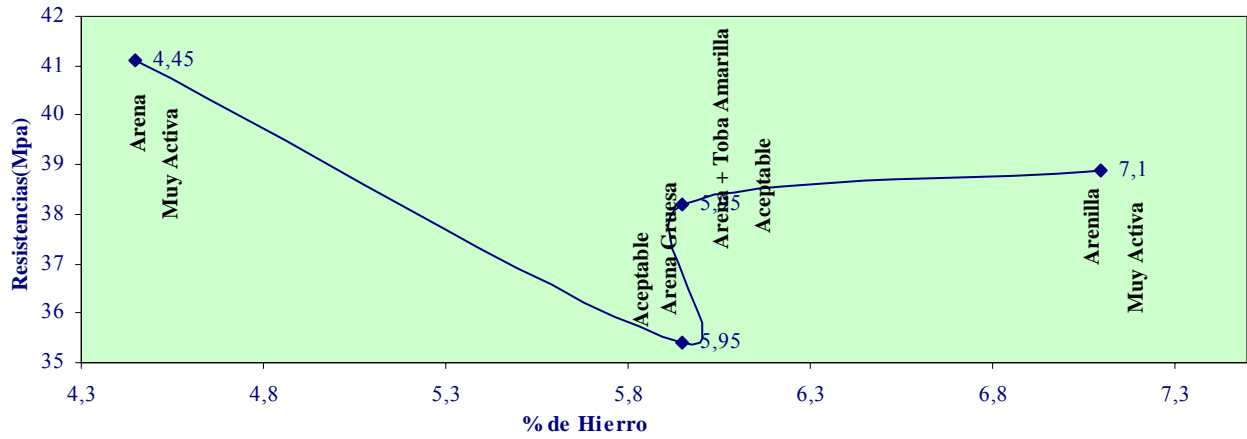
**Gráfico No. 16****Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El contenido de Arcilla  
presentado por las Arenas.**

En el gráfico No. 16 se observa la relación que existe entre las resistencias presentadas por las arenas y su contenido de arcilla, según la literatura las arcillas disminuyen las resistencias, no obstante, experimentalmente para las arenas el contenido de arcilla aumenta a medida que aumentan las resistencias, esto se debe posiblemente a que las arcillas presentes en las arenas poseen bajo contenido de aluminio, o a la naturaleza diferente de las arenas (Rocas Sedimentarias) de las Tobas (Rocas Piro clásticas).

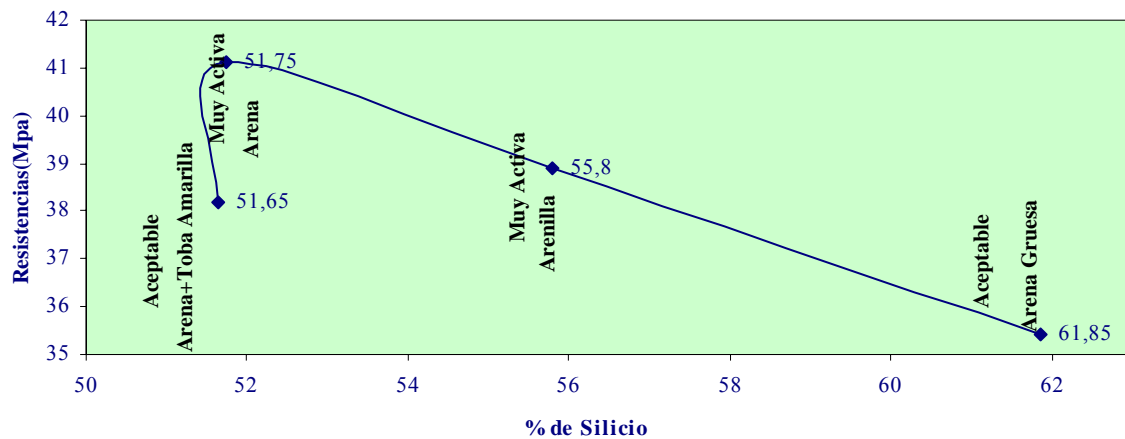


**Gráfico No. 17**

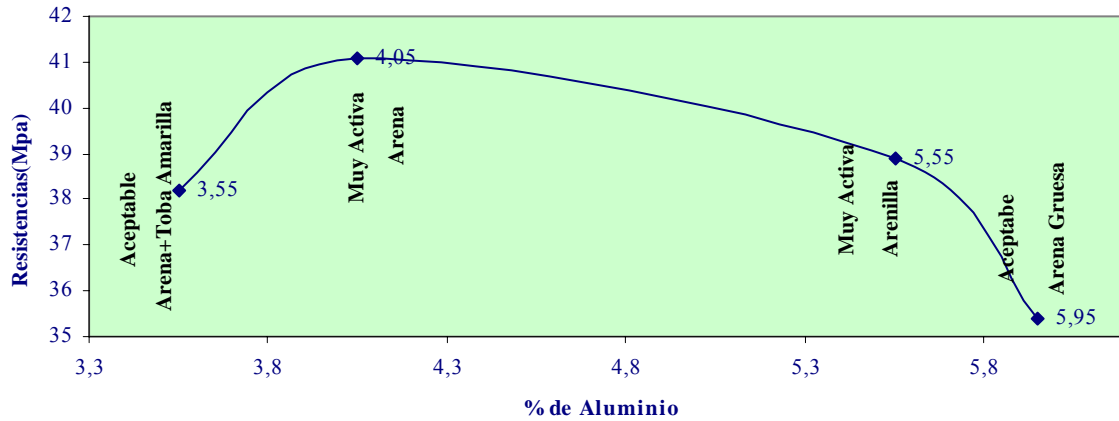
**Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El contenido de Óxido de Hierro Presentado por las Arenas.**



En el gráfico No. 17 se evaluó la influencia que tiene el contenido de hierro en las resistencias presentadas por las arenas con el objetivo de encontrar si existe alguna dependencia entre ambos. Según los resultados obtenidos experimentalmente se encontró que no existe ninguna dependencia entre ambos parámetros, es decir, ambos se comportan de manera independiente, si bien vemos en el gráfico la arena gruesa y la arena + toba amarilla presentan el mismo contenido de hierro, sin embargo, manifiestan diferencias significativas en las resistencias a la compresión; de igual modo arena mezclada con toba amarilla y la arenilla presentan valores similares de resistencias, no obstante, manifiestan gran diferencia con el contenido de hierro.

**Gráfico No. 18****Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El contenido de Óxido de Silicio Presentado por las Arenas.**

En el Gráfico No.18 se observa la relación que existe entre las Resistencias presentadas por las Arenas y su contenido de Óxido de Silicio, como se estableció, el Silicio es responsable de que las Tobas produzcan Gel cementante, los cuales tienen la propiedad de ofrecer altas Resistencias a la Comprensión, es por ello que el contenido de Silicio debe variar de manera directa con las Resistencias, sin embargo, los resultados obtenidos experimentalmente demuestran que existe una contradicción debido a que para las Arenas, Arenilla y Arena gruesa las Resistencias a la comprensión disminuyen grandemente mientras que el contenido de Oxido de Silicio aumenta, esto se debe a la naturaleza del Silicio presente en las Arenas (Rocas Sedimentarias) que es mas inerte que el Silicio presente en las Tobas (Rocas Piro clásticas), por lo tanto reacciona menos para producir Gel cementante o el Gel producido es de menor calidad y su aporte es menor en las Resistencias.

**Gráfico No. 19****Estudio del comportamiento de las Resistencias vs. El contenido de Óxido de Aluminio presentado por las Arenas.**

En el gráfico No.19 se observa la relación que existe entre las resistencias presentadas por las arenas y su contenido de aluminio, según datos precedentes el aluminio es inhibidor de las resistencias a la compresión, estando de acuerdo con los datos experimentales debido a que para las arenas, arenillas y arena gruesa el contenido de aluminio aumenta a medida que disminuyen las resistencias, la única irregularidad se encuentra para las arenas + tobas amarillas, y adjudicamos este comportamiento al hecho de que está mezclada la arena con toba amarilla.

## Conclusiones

El contenido de silicio presentado por las tobas es muy alto estando esto de acuerdo con lo esperado debido al origen Vitro clástico de las tobas, además guarda una relación directa con las actividades y con las resistencias, lo que conlleva a obtener un cemento de buena calidad.

El contenido de arcilla encontrado en la mayoría de las tobas es alto lo que contribuye a disminuir las actividades, sin embargo, experimentalmente se encuentra que la resistencia no disminuye, lo que no concuerda con las normas establecidas, probablemente debido al tipo de arcilla presente el cual contiene porcentajes bajos de óxido de aluminio

El contenido de aluminio encontrado en las tobas no alto en comparación con los estándares utilizados pero tiene un efecto inhibitor en las actividades, afectando las resistencias, sin embargo, en la práctica las resistencias obtenidas experimentan un aumento constante, lo que conlleva probablemente a una disminución de la calidad del cemento

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio podemos concluir lo siguiente:

Las tobas que presentan altas resistencias tienden a tener un alto valor en las actividades, de igual forma el porcentaje de silicio, varia de manera directa con las actividades, al contrario el contenido de aluminio que su alto contenido disminuye las actividades, de igual forma el contenido de arcilla varia de manera inversa las actividades.

Para que las tobas presenten una buena actividad para su uso en cementos deben presentar altas resistencias a la compresión, además un contenido.

El contenido de hierro encontrado en las tobas es variable, pero no parece afectar la resistencia ni las actividades, por lo que presupone que no afecta la calidad del cemento.

Las resistencias encontradas en todas las tobas son muy altas en relación, a la muestra inerte evaluada, excepto en las arenas las cuales probablemente no sean recomendables para la elaboración de cemento de buena calidad.

Las actividades en todas las tobas son variables de muy activas en las tobas amarillas hasta aceptable en las arenas, sin embargo no podemos concluir que este parámetro sea determinante para la calidad del cemento, por cuanto no hay una relación concordante con las resistencias, y además deben evaluarse otros parámetros tales como la naturaleza del aluminio, tipo de Arcilla encontrada, origen Tobáceo.

### **Recomendaciones**

Hacer un estudio independiente sobre las influencias del contenido de hierro en la calidad del producto terminado.

Determinar el tipo de arcilla presente, además la naturaleza del contenido de aluminio, Silicio y Hierro para así averiguar los beneficios reales que cada material aporta al producto terminado.

Validar todos los métodos utilizados principalmente los métodos de análisis químicos como lo son: Determinación de Óxidos de Silicio Aluminio y Hierro por Absorción Atómica de Flama y Determinación de la Actividad Puzolánica Mediante el método acelerado de Conductimetría.

## **Bibliografía**

Annual Book of ASTM Standard 1996

Section 4 – Construction 04.01 Cement; Lime; Gypsum.

Manual Tecnológico del Cemento

Editores técnicos asociados S.A. Barcelona, 1997. Impreso España. ROMAGRAF, S.A., -  
Juventud 55. Traducción de la obra Alemana del Dial Ingeniero Walter H.

The Cement plant Operation.

Third Edition. Noviembre 2001. Editorial Design and Proofing: Anna Whitehan.

Production, Paul Benewith. Houston, Texas.

Introducción al estudio de las rocas en secciones delgadas. Petrografía.

Por Howell Williams, F. J. Turner, C. M. Gilbert, Universidad de California, Compañía  
Editorial Continental, S. A., México.

Definición de áreas para estudios detallados de exploración de calizas para su aplicación  
en la fabricación de cemento, área del pacífico, proyecto: INMINE-MICONS-MINIMO,  
Autores, Edmundo Aguirre y Gabriela Hofer.

Estudio Sobre descripción del Área de explotación.

Ing. Justo Olivares, Geólogo de Planta Cementera Holcim (Nicaragua) S.A.

[www.Holcim.com](http://www.Holcim.com) Web site oficial de Holcim Ltd.

[www.cementoscolon.com](http://www.cementoscolon.com) web site Cementos Colon Republica Dominicana.

[www.cementoslima.com](http://www.cementoslima.com) Web site oficial de Cementos Lima de Chile.

[www.Cementoscruzazul.com](http://www.Cementoscruzazul.com) Web site oficial de Cementos Cruz Azul de México.

# **Anexos**



### Foto No. 3

**Área muestreada. Foto del corte donde se tomaron las muestras par realización de los ensayos.**



Como podemos observar en la foto se presenta el corte vertical con dirección sur-oeste a nor-este del cerro No.1 del que se muestreo para realizar los análisis posteriores, del cual la materia prima se esta explotando para la elaboración del cemento. En el que se puede ver la disposición de las diferentes capas encontradas, así como también su coloración y textura.

### Foto No. 4

Capas de tobas muestreadas, ubicación, descripción, espesor y textura de todas las muestras obtenidas.



Estrato 1  
Toba Gris Clara  
Espesor: 1.84



Estrato 2  
Toba Gris 1  
Espesor: 0.12 mts



Estrato 3  
Toba Pumítica Amarilla  
Espesor: 0.43 mts



Estrato 4  
Toba Amarilla 1  
Espesor: 0.25 mts



Estrato 5  
Pómez  
Espesor: 0.52



Estrato 6  
Toba Amarilla 2  
Espesor: 0.51 mts



Estrato 7  
Arena 1  
Espesor: 0.93 mts



Estrato 8  
Arenilla  
Espesor: 0.20 mts



Estrato 11  
Toba Gris Amarillenta  
Espesor: 0.62 mts



Estrato 12  
Arena 1+ Toba  
Amarilla  
Espesor: 0.39 mts



Estrato 13  
Toba Amarilla Grisáceo  
Espesor: 0.47 mts



Estrato 14  
Toba amarilla 3  
Espesor: