

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA**

**DEL LITORAL**

**FACULTAD EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**“REACCION ALCALI AGREGADO”**

**“METODO ACELERADO”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Presentada por:**

**JAIME ELOY SORIANO LASCANO**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**1998**

**Al CENTRO TECNICO DEL  
HORMIGON y al ING.HUGO  
EGÜEZ** Director de Tesis, por  
su valiosa ayuda y  
colaboración para la realización  
de este trabajo:

Agradezco a **Dios**, a mis **Hermanos** y en especial a mis **Padres**, quienes han sido la motivación diaria para que culmine con éxitos mis estudios superiores.

## **DECLARACION EXPRESA**

“ La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas

expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente;

y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

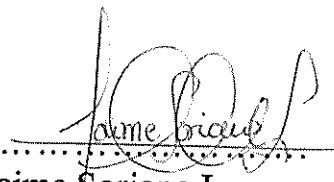
( Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

.....  
Jaime Soriano Lascano

## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

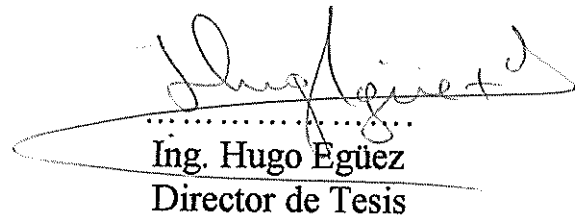
  
Jaime Soriano Lascano



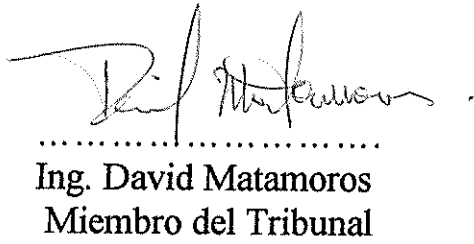
BIBLIOTECA FIS  
ESPOL



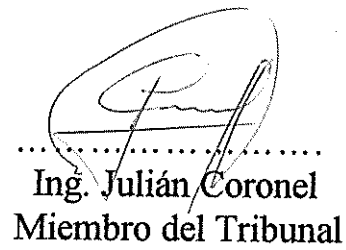
.....  
Ing Miguel Angel Chávez  
Decano de la Facultad



.....  
Ing. Hugo Egúez  
Director de Tesis



.....  
Ing. David Matamoros  
Miembro del Tribunal



.....  
Ing. Julián Coronel  
Miembro del Tribunal

## **OBJETIVOS**

El trabajo elaborado en esta tesis abarca los siguientes puntos principales :

- 1.-** Realizar un muestreo de los agregados más utilizados para la dosificación de hormigones y realizar en ellos un estudio de laboratorio, donde se determine si presentan características potencialmente reactivas y dañinas en el hormigón, producto de la reacción álcali - agregado.
- 2.-** Dar a conocer los diferentes métodos existentes para el reconocimiento de la reacción álcali - agregado en barras de morteros ( expansión ) y hacer el análisis respectivo con el método acelerado ASTM C 1260 uno de los más utilizados a nivel mundial y nuevo en nuestro país.
- 3.-** Realizar un estudio complementario como la examinación petrográfica, para determinar los componentes mineralógicos en los agregados y comparar los resultados obtenidos con los del método ensayado con el propósito de comprobar si el método es confiable y seguro.

## RESUMEN

Dentro del campo de la construcción, es importante saber los aspectos técnicos, constructivos, económicos, ecológicos y calidad de una obra. Sin embargo a veces no tomamos en cuenta los materiales a ser usados y descartamos su análisis.

Como se sabe que más del 70 % del volumen del hormigón lo conforma el agregado, es meritorio que se realice un estudio previo a la construcción de una obra, para garantizar que en el futuro no exista problemas de deterioración del concreto.

El afán de estudio de los áridos, es dar a conocer a los constructores interesados, las características físicas y químicas que deben ser conocidas tanto para la dosificación en sí del hormigón como para garantizar su permanencia en el tiempo (durabilidad), es así que parámetros como la densidad, absorción, resistencia (compresión, flexión, abrasión, etc.) son parámetros útiles a ser considerados en el diseño; de la misma manera comportamiento del árido ante ciertos agentes químicos provenientes de la pasta cementicia o de factores externos deben ser tomados en cuenta a fin de evaluar la integridad del hormigón. Uno de los aspectos relacionados con la durabilidad del hormigón es la reacción de los álcalis del cemento con el material silicio reactivo presente en los agregados; existe un sinnúmero de pruebas y ensayos para verificar si esta reacción es factible, pero un estudio completo del mismo, tardaría un periodo entre 2 y 3 años. Existen varios tipos de métodos acelerados que podrían ser utilizados para identificar la reacción, pero para nuestro estudio de áridos



( Costa, Sierra y Galápagos ), se ha elegido el método de la barra de mortero ASTM C-1260 implementado por primera vez en 1994 o también llamado método NBRI ( Instituto de Investigación de la Construcción Nacional de Africa del Sur) el cual es un método de mayor aceptación en todo el mundo y con resultados confiables en comparación con otros ensayos.

Se trata de un método que requiere de mucho cuidado puesto que al trabajar con una solución de hidróxido de sodio NaOH con concentración 1 Molar a 80°C , se deben tomar las precauciones del caso para la operación de esta técnica, evitar salpicaduras y cuidar los ojos, las vías respiratorias por emanación de gases y las manos del operador.

A parte de los resultados obtenidos, se realizará un estudio petrográfico complementario de varias muestras ensayadas para comprobar y demostrar la eficiencia de este método en los agregados potencialmente reactivos.

El seguimiento se hará en base a la Norma ASTM y a los requerimientos de cada uno de los materiales utilizados para la elaboración de las barras.

Los resultados obtenidos en los 10 ensayos analizados nos muestran claramente que áridos de tipo volcánico son más susceptibles de reaccionar de manera dañina con el hormigón, así lo demuestran los agregados de Chivería, Hanna en la provincia del Guayas y áridos como Fucu Sucu, Caspigasi, Inabromco y La Mica en la provincia de Pichincha.

## CONTENIDO

OBJETIVOS.....	VI
RESUMEN.....	VII
INDICE.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	XI
INDICE DE GRAFICOS.....	XII
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	XIII
1.INTRODUCCION.....	1
1.1 RESEÑA HISTORICA.....	2
1.2 REACCION ALCALI - AGREGADO.....	4
1.3 AGREGADOS REACTIVOS DE SILICE.....	9
1.4 PRODUCTO DE REACCION ( GEL ) .....	12
2.- QUIMICA DE LA REACCION.....	14
2.1 COMPOSICION QUIMICA DEL CEMENTO.....	15
2.2 ALCALIS EN EL CEMENTO Y CONCRETO.....	19
2.3 MECANISMO DE REACCION.....	23
2.4 EFECTO DE ADICION DE SAL EN EL PH.....	27
2.5 NATURALEZA QUIMICA DEL AGUA DE PORO.....	28
3.- TIPOS DE AGREGADOS ANALIZADOS.....	31
3.1 UBICACIÓN Y PROCEDENCIA DE MUESTRAS.....	32
3.2 CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS.....	34

4.- PREPARACION DE MUESTRAS.....	36
4.1 PREPARACION DEL AGREGADO.....	37
4.2 PREPARACION DE LA SOLUCION Na(OH).....	40
4.3 PREPARACION DEL CEMENTO.....	44
5.- ENSAYOS PARA DETERMINAR LA REACCION.....	45
5.1 PETROGRAFIA DE VARIAS BARRAS DE MORTERO .....	47
5.2 ENSAYOS NO CONSIDERADOS EN LA TESIS.....	54
5.2.1 Ensayo rápido químico.....	54
5.2.2 Ensayo de las pastilla de mortero ( Gel pat test ).....	56
5.2.3 Ensayo de la celda osmótica.....	57
5.2.4 Análisis de rayos “X”.....	59
5.2.5 Ensayo del prisma de concreto.....	59
5.3 ENSAYO DEL METODO ACELERADO.....	61
5.3.1 Preparación y moldeo.....	61
5.3.2 Lecturas.....	63
5.3.3 Cálculos.....	64
5.3 RESULTADOS.....	65
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
APENDICES.....	82
BIBLIOGRAFIA.....	96

## INDICE DE TABLAS

2.1 Oxidos principales y secundarios del cemento.....	15
2.2 Componentes mineralógicos del clinker.....	16
2.3 Composición promedio de los diferentes tipos de cemento.....	18
2.4 Alcalis promedio de los cementos ecuatorianos.....	20
2.5 Rango permisible de álcalis en el cemento.....	21
2.9 Composición química del agua de poro.....	29
3.1 Agregados producidos en Guayaquil.....	32
3.2 Agregados producidos en Galápagos.....	33
3.3 Agregados producidos en Quito.....	33
3.4 Resistencia a la compresión de agregados.....	34
3.5 Resistencia del agregado.....	34
3.6 Masas unitarias de los agregados.....	35
4.1 Granulometría necesaria para el ensayo.....	38
4.2 Peso necesario del agregado para las barras.....	39
4.3 Especificaciones para el agua.....	40
4.4 Características del cemento ASTM C150.....	44
Análisis químico del gel.....	83
Rango de valores de los diferentes tipos de cemento.....	85
Pasos para la preparación de barras.....	87

## INDICE DE GRAFICOS

1.1 Relación entre expansión y sílice reactivo en el agregado.....	8
2.1 Composición de óxidos del cemento portland.....	17
2.2 Componentes mineralógicos del cemento portland.....	18
2.6 Expansiones obtenidas de morteros con álcali ácido soluble.....	22
2.7 Expansiones con diferentes relaciones de álcali - sílice.....	23
2.8 Modelo idealizado de la reacción álcali agregado.....	26
5.1 Curva de división para el método rápido químico.....	55
5.2 Diagrama de la celda osmótica.....	58
5.3 Recipiente para el ensayo del prisma de concreto.....	60
Composición mineralógica del cemento.....	84
Medidas de los moldes en el sistema S.I. ....	86

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTO 4.1 Material de acopio en la cantera de Chivería.....	37
FOTO 4.2 Tamices con la granulometría deseada.....	39
FOTO 4.3 Agua necesaria para la elaboración de barras .....	41
FOTO 4.4 Preparación de la solución de hidróxido de sodio.....	42
FOTO 4.5 Moldes de PVC.....	43
FOTO 4.6 Cemento necesario para el mortero.....	44
FOTO 5.1 Materiales para la elaboración de las barras.....	62
FOTO I Mezcladora mecánica.....	90
FOTO II Colocación de la primera capa en el molde.....	91
FOTO III Enrasado de la capa final.....	91
FOTO IV Muestras colocadas en la cámara húmeda .....	92
FOTO V Barras sumergidas en los moldes de PVC.....	93
FOTO VI Molde sellado con silicone .....	93
FOTO VII Moldes sellados.....	94
FOTO VIII Cilindros colocados al horno.....	94
FOTO IX Aparato para medir la deformación de las barras.....	95

# **CAPITULO I**

# INTRODUCCION

## 1.1 RESEÑA HISTORICA

La primera datación de la reacción álcali agregado tiene lugar en California, Estados Unidos, por los años de 1920 y 1930 cuando en varias estructuras de concreto como edificios, puentes, carreteras pavimentadas se observaron agrietamientos y expansiones inexplicables a los pocos años de su construcción. Fue entonces que Thomas E. Stanton un Ingeniero americano vió que en un cilindro de hormigón guardado en un contenedor por un año, se presentaron manchas a su alrededor con una efluorecencia blanca en la cual se determinó posteriormente ser carbonato de sodio y al poco tiempo la muestra se fisuró, por lo que se puso a consideración de estudio e investigación.

En 1940 se demostró que el deterioro del concreto fue debido a la reacción entre el álcalis del cemento Portland y las rocas silíceas de los agregados. Este descubrimiento fue aceptado con gran interés y permitió a muchos científicos identificar la reacción álcali - sílice .

En 1941 se colocó un límite superior de 0.6% por masa en el contenido de álcali del cemento adquirido para los más importantes trabajos, y de esta manera disminuir el riesgo de fisuramiento debido a la reacción, ya que los daños sufridos en las estructuras se debían a una elevada cantidad de álcalis en el



cemento y los agregados eran reactivos.

Así, Blanks y Meissner también descubrieron el fisuramiento y deterioración del concreto, ellos fueron capaz de demostrar que el producto reacción álcali - sílice (RAS), se produjo en los componentes reactivos de los agregados, ( una alteración en la andesita y riolita ), el cual representaba cerca del 2% del total de agregados.

Durante 1950, la reacción álcali - agregado fue estudiada por muchos laboratorios a nivel mundial, iniciándose en los Estados Unidos, más tarde en Europa, Canadá y otras partes del mundo. Los estudios avanzaron rápidamente y se identificaron los componentes minerales en el agregado que intervenía en la reacción.

Una gran contribución a estas investigaciones son las del canadiense Sweson, quién reconoció la reacción álcali - agregado el cual implicaba agregados carbonatados; el danés Idorn, uno de los primeros científicos europeos en investigar la deterioración del concreto debido a la reacción álcali - sílice y el australiano Vivian, quien contribuyó al gran trato del mecanismo del entendimiento de la reacción de los agregados.

Muchos científicos más trabajaron y dedicaron sus esfuerzos al problema del álcali - agregado en el concreto. Ref (11, 22, 24)

En 1974 se realizó uno de los primeros encuentros internacionales de científicos interesados en la reactividad álcali - agregado en Dinamarca. Las publicaciones

siguieron a cada una de estas conferencias a donde se proporcionaban las más importantes fuentes de información disponible, inclusive el relato de experiencias nacionales e internacionales, casos históricos, medidas preventivas y reparadoras como las de Dinamarca, Canadá, Nueva Zelanda; Japón e India y que han sido publicadas por Swamy en 1992. Ref (22)

## **1.2 REACCION ALCALI - AGREGADO**

En las cuatro últimas décadas, las deterioraciones en el concreto debido a las reacciones químicas entre la pasta de cemento y el agregado han sido observados detenidamente.

La reacción álcali agregado se manifiesta en el concreto cuando los álcalis (sodio y potasio) presentes en el cemento o de alguna forma externa, reacciona con ciertos agregados reactivos silíceos.

Dependiendo del tiempo, temperatura y tamaño de las partículas, todo silicato o sílice mineral como el ópalo, tridimita (cristalina) o formas amorfas (obsidiana, calcedonia) pueden reaccionar con una solución alcalina. Algunos materiales reactivos se forman en cherts calcedónicos, piedras limosas silíceas, riolitas, macizos riolíticos, dacitas, andesitas y filitas.

La reacción inicia con un ataque de los minerales silíceos en el agregado por los hidróxidos alcalinos derivados del álcalis (óxido de sodio  $\text{Na}_2\text{O}$  y óxido de potasio  $\text{K}_2\text{O}$ ) en el cemento. Entonces, se forma un gel de álcali y silicato que

altera el contorno en el agregado, este gel empieza a hincharse absorbiendo agua e incrementando su volumen.

La expansión provoca deterioración a la pasta de cemento en su imagen externa y probables daños internos, donde posteriormente se verán afectados y comprometidos los elementos estructurales debido al desarrollo de presiones internas como resultado de la reacción química, el cual podría producir propagación de microfisuras.

Por esta razón, se piensa que el hinchamiento de partículas de agregados de alta resistencia, son más peligrosos y destructivos al concreto pero los feldespatos, piroxenos, anfíboles, micas y cuarzo el cual son componentes minerales del granito, gneiss, esquistos, areniscas y basaltos son clasificados como inocuos ( que no hacen daño ).

El tamaño de las partículas silíceas controlan la velocidad de reacción y partículas entre 20  $\mu\text{m}$  y 30  $\mu\text{m}$  permiten la expansión en uno o dos meses y más aún después de un año. La reactividad de los agregados se ve afectado por el tamaño y porosidad de las partículas éstas influyen en el área sobre el cual la reacción puede tomar lugar.

Se han reconocido cuatro ( 4 ) formas de reacción álcali - agregado. Ellas son:

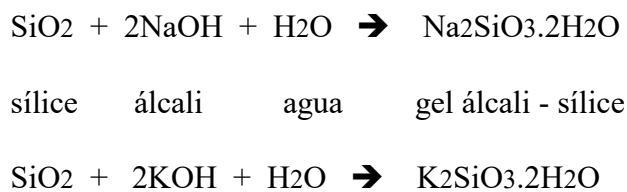
a) REACCION ALCALI - SILICE

Se da en el concreto cuando los álcalis del cemento o de alguna forma

externa, reacciona con la sílice libre presente en ciertos agregados para formar un gel álcali - sílice. Este gel tiene la propiedad de tomar el agua de la solución acuosa y expandirse. Como ya se dijo anteriormente, la expansión puede provocar a las partículas del agregado y a la pasta de cemento fisuras y por último dañar el concreto.

Cuando la hidratación del cemento progresa, los álcalis son concentrados en la fase acuosa, por tanto el PH sube y los minerales silíceos reactivos se solubilizan.

La ecuación química puede ser escrita de la siguiente manera:



Para que la reacción álcali - sílice se produzca se requiere necesariamente tres condiciones:

- 1.- presencia de álcalis en la pasta del cemento
- 2.- presencia de agregados reactivos en el concreto
- 3.- agua.

Si alguno de estos 3 condiciones está ausente en la reacción, ésta no ocurrirá.

La reacción álcali sílice es la más común e importante de las reacciones álcali agregado.

Algunas veces, pero no siempre, el gel álcali - sílice, de color blanco, puede ser visto saliendo de las grietas y fisuras en el concreto, pero en épocas secas tan solo se presentan como polvo blanco.

#### b) REACCION ALCALI - SILICATO

Tiene la misma similitud en comparación con la de la reacción álcali - sílice, con la diferencia, de que los constituyentes reactivos en el agregado ya no está en forma de sílice libre si no que se encuentra presente en combinaciones de filosilicatos ( micas, cloritas ). El nombre dado no refleja la verdad ,ya que hay otros silicatos que no son reactivos, quizás llegarán a ser reactivos si su granulometría es muy fina.

#### c) REACCION ALCALI - CARBONATO

Esta reacción se da en el concreto de igual manera con los álcalis del cemento o de alguna forma externa con ciertas piedras limosas dolomíticas conteniendo arcilla. El álcalis reacciona con el mineral dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  produciendo brucita  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  y calcita  $\text{CaCO}_3$  en una reacción de la siguiente manera:



dolomita            álcali            brucita            calcita



Esta reacción provoca que la roca genere poros, permitiendo que el agua entre y cause el hinchamiento de la arcilla y posterior la ruptura del agregado. Por lo general esta reacción ocurre con piedras limosas de calcita , propias de las

dolomías y no en las calizas. Ref ( 18, 21, 24 )

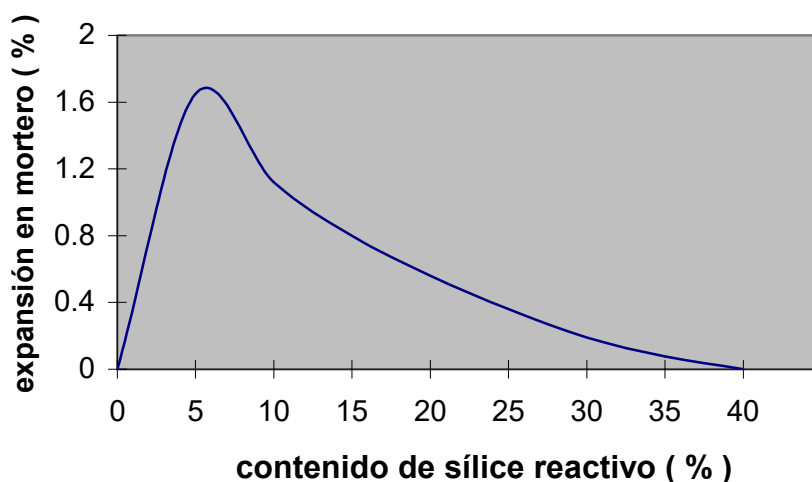
#### d) OTRAS REACCIONES ALCALI - AGREGADO

Ya que el álcalis de hidróxido de sodio y potasio son reactivos, otras reacciones en los agregados podrían darse en algún tiempo. Todas estas reacciones químicas son al fin y al cabo un tema de estudio que en esta tesis no abarca.

La reacción álcali - agregado se ve afectado por otros factores como la disponibilidad del agua no evaporada y la permeabilidad de la pasta de cemento. La humedad y las altas temperaturas aceleran la reacción, por lo que los factores físicos y químicos hacen de ésta una reacción compleja.

Se ha comprobado que en la reacción álcali - agregado, la expansión puede ser reducida o eliminada por la adición a la mezcla de sílice reactiva en forma de polvo bien fino.

Esta paradoja puede ser explicada por la fig 1.1 mostrando la relación entre la expansión y el contenido de sílice reactivo en pruebas hechas a barras de mortero.



**GRAFICO 1.1** Relación expansión/ sílice reactivo en el agregado a los 224 días

Para un rango bajo de contenido de sílice, el valor de la expansión se incrementa, pero cuando tenemos altos valores de sílice, la situación es inversa. Ref ( 18,19 )

La adición de puzolanas reduce la reacción álcali - agregado pero la adición de estos harán incrementar la necesidad de agua a la mezcla.

### **1.3 AGREGADOS REACTIVOS DE SILICE**

La mayoría de los agregados usados para la elaboración del concreto, están compuestos por más de un mineral. Muchos de los minerales y rocas potencialmente reactivas, inducen a una expansión debido a la reacción álcali sílice en el concreto.

Algunas rocas sedimentarias, se forman a lo largo del tiempo de materiales orgánicos depositados. Ciertos organismos utilizan sílice para formar sus partes duras e importantes y estos materiales silíceos pueden formar un componente importante de cierto tipo de rocas.

Hornfels y otras rocas metamórficas son versiones recristalizadas de rocas ígneas y sedimentarias. Rocas ígneas tal como el granito y basalto, por lo general, contienen varias especies minerales diferentes.

Una forma de sílice reactivo es un requerimiento esencial para la reacción álcali agregado en concreto y el volumen necesitado para causar efectos dañinos es muy poco, con tan solo un 2% de componente reactivo ya se reportan casos a

ser observados. Algunas veces están presente como un constituyente del chert, pedernal, esquistos, areniscas, piedra caliza y otros agregados.

El chert es un componente común que afecta al concreto. Las varias formas de sílice pueden a menudo ser identificadas por medio de examinación petrográfica. Esto no se puede dar en el cuarzo criptocristalino, pero esta forma de sílice puede ser distinguido si está en cantidades significantes por medio del análisis de la difracción de los rayos "X".

Las formas de sílice reactivo que se han encontrado son las siguientes:

- a) Sílice amorfo.- este no tiene estructura, pero algunas veces una apariencia vidriosa en especies de roca o sección delgada bajo el microscopio.
- b) Cuarzo criptocristalino.- es una forma de cuarzo que examinado bajo el microscopio tiene una estructura indistinguible.
- c) Cuarzo microcristalino.- a diferencia del anterior si se puede identificar bajo el microscopio.
- d) Cuarzo.- es un mineral muy duro y común, formado especialmente por bióxido de silicio, de brillo vítreo y color que varía según las sustancias en que está mezclado. Se encuentra en muchas rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas tales como el granito y riolitas. Granos de cuarzo son a menudo el constituyente predominante de los depósitos de arenas y gravas.
- e) Tridimita.- es una forma de sílice cristalina que tiene una estructura abierta en comparación con el cuarzo. Es encontrada en rocas volcánicas ácidas.



- f) Cristobalita.- es un sílice parecido a la tridimita encontrada en rocas volcánicas ácidas.
- g) Opal u opalina.- es una forma de sílice acuosa, amorfa y criptocristalina, éstas son las formas de sílice más desordenadas y las más reactivas.
- h) Calcedonia.- consiste en fibras de cuarzo ultra finas. Ocurre en alguna variedades. Es moderadamente reactiva.
- i) Chert.- son bandas o capas de nódulos de cuarzo microcristalino en rocas sedimentarias.

Para determinar la reactividad de expansión en barras de morteros algunos laboratoristas hicieron una variedad de ensayos y proporciones con arenas de cuarzo inócuas con un contenido de álcali en cemento de 6.2 Kg/m<sup>3</sup>.

En base a los resultados de los ensayos realizados a los minerales silicios se pudo concluir un orden decreciente de daño que pueden ocasionar al concreto. Estos minerales son:

- 1.-Opalo
- 2.-Calcedonia
- 3.-Cristobalita
- 4.-Tridimita
- 5.-Cuarzo criptocristalino

## 1.4 PRODUCTO DE REACCION ( GEL )

La interacción entre el álcali del cemento y el sílice reactivo de los agregados en presencia de humedad, hacen que se produzcan una reacción formándose un gel álcali sílice el cual empieza a tomar volumen por hinchamiento cuando este absorbe agua.

El gel esta compuesto por sílice, calcio, sodio, potasio y agua y este volumen es consecuentemente más grande que el sílice consumido.

La composición del gel varía considerablemente dependiendo del álcali fluido del poro y probablemente de la forma particular de sílice reactiva, así como de la temperatura de reacción y concentración de reactantes.

Las primeras impresiones cuando aparece por medio de los agrietamientos en un concreto son usualmente transparentes y de una apariencia resinosa, y con una viscosidad espesa similar al del aceite de un motor y la resina. Pero hay una variación considerable en viscosidad entre ejemplos de gel.

Si hay un exceso de sílice reactivo disponible, cualquier expansión dependerá primeramente en el contenido de álcali disponible, y en caso contrario, si hay un exceso de álcalis disponible, cualquier expansión dependerá de la cantidad de sílice reactivo que exista. La reacción cesará cuando cualquier de los reactivos estén consumidos o cuando los iones oxidrilos estén tan bajos que el sílice reactivo ya no es atacado.

Por tanto, la expansión terminará cuando cualquiera de sus materiales reactivos estén consumidos o cuando el equilibrio físico esté establecido.

El gel puede ser descolorido o de color blanco y puede exudar sobre la superficie del cemento. Cuando se encuentra húmedo y expuesto al bióxido de carbono  $\text{CO}_2$  este se carbonatará y una vez seco aparecerá una coloración blanca y dura en capas delgadas.

Análisis de gel indican que un rango amplio de composición son posibles, a pesar que hay que tener mucho cuidado con la interpretación, así hay muchos ejemplos de gel parcialmente carbonatados por exposición al ambiente.

En el apéndice A muestra un sinnúmero de datos de como puede estar compuesto este gel y que han sido reportados y recopilados en centros de estudios.

La composición de el gel, la viscosidad, la capacidad de hincharse al absorber agua y la presión desarrollada cuando se hincha, hacen complejo su estudio y no claramente comprendido.

## **CAPITULO II**

## QUIMICA DE LA REACCION

### 2.1 COMPOSICION QUIMICA DEL CEMENTO

El cemento portland es el más usado en el concreto, es un producto fabricado, hecho por calcinación a altas temperaturas de la piedra caliza y arcillas en un horno rotatorio, las temperaturas de calcinación típicamente alcanzan los 1450°C. Reacciones continuas se dan en estado sólido, el producto resultante es el clinker, que es finalmente es enfriado al medio ambiente. La micro estructura química del clinker está representada en la tabla siguientes de óxidos:

#### COMPUESTOS PRINCIPALES

Nombre	nomenclatura	%
óxido de calcio	CaO	60-67
óxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	17-25
óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.0-8.0
óxido férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-6
óxido de magnesio	MgO	0.2-2
Álcalis	Na <sub>2</sub> O y K <sub>2</sub> O	0.2-1.3
Anhídrido sulfúrico	SO <sub>3</sub>	1.0-3.0

#### COMPUESTOS SECUNDARIOS

bióxido de titanio	TiO <sub>2</sub>
óxido de cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
anhídrido fosfórico	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
cal libre	CaO

**TABLA 2.1** Oxidos principales y secundarios del cemento. Ref ( 20 )

Los óxidos principales forman silicatos diminutos y ferroaluminatos de calcio en forma de minerales de estructura cristalina, parte de ellos pasan a ser de forma

vítrea.

Mineralógicamente el clinker está formado por las siguientes partes:

nombre de componente	composición química	abreviación	rango de %
silicato tricálcico (alita)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}^*$	50-65
silicato dicálcico (belita)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}^*$	15-25
aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}^*$	7.0-10
aluminio ferrito tricálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}^*$	7.0-10
óxido de calcio	$\text{CaO}$	$\text{C}^*$	0.5-1.5

\* se encuentra abreviada la notación convencional química.

**TABLA 2.2** Componentes mineralógicos del clinker . Ref ( 5 y 6 )

El cálculo de la composición potencial del cemento portland, es basado en el trabajo de R. H. Bogue y otros, en base a los análisis químicos hechos con anterioridad . El término en grupo ( abreviatura), representa el porcentaje que se da a un óxido en el peso total de cemento.

$$\mathbf{C_3S} = 4.07(\text{CaO}) - 7.6(\text{SiO}_2) - 6.72(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.43(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 2.85(\text{SO}_3)$$

$$\mathbf{C_2S} = 2.87(\text{SiO}_2) - 0.754(\text{C}_3\text{S})$$

$$\mathbf{C_3A} = 2.65(\text{Al}_2\text{O}_3) - 1.69(\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\mathbf{C_4AF} = 3.04(\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Dentro de las propiedades que conforman la combinación de los óxidos se tienen:

**C3S:** rápido endurecimiento, alto calor de hidratación, da alta resistencia.

**C2S:** endurecimiento lento, bajo calor de hidratación, resistencias iniciales bajas pero finales altas.

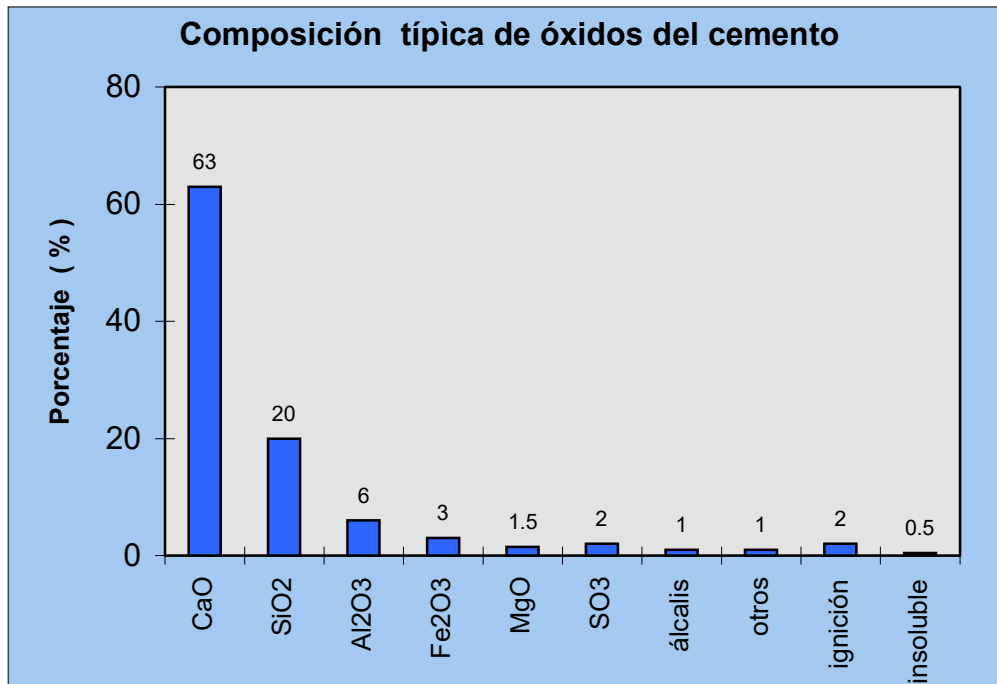
**C3A:** Fraguado rápido, con un alto calor de hidratación, alta contracción, poca

contribución a resistencias finales.

**C4AF:** bajo endurecimiento, poca contribución a resistencia , de color oscuro.

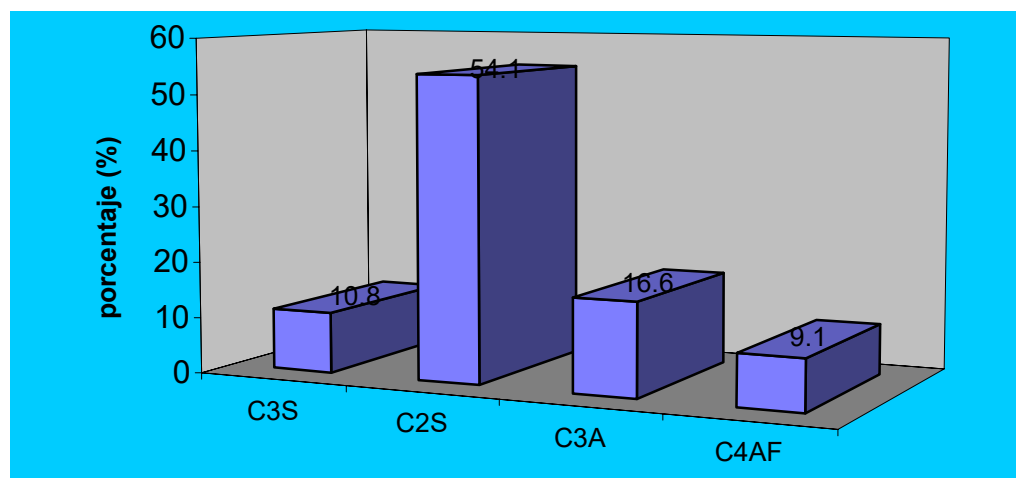
**C:** aceptable solo en cantidades pequeñas, valores altos causan expansión y fisuras. Ref ( 1 )

Una idea general de la composición del cemento puede ser obtenido del gráfico 2.1, el cual da una composición típica de un cemento portland,



**GRAFICO 2.1** Composición de óxidos de un típico cemento portland. Ref (20)

y aplicando la ecuación de Bogüe tenemos el gráfico con los siguientes resultados:



**GRAFICO 2.2** Componentes mineralógicos del cemento portland.

La pérdida por ignición, representa la medida de la carbonatación e hidratación de la cal libre y de la magnesia libre debido a la exposición del cemento a la atmósfera.

En la tabla 2.3, el porcentaje es sobre 100%, pero no están incluidos sulfatos de calcio, óxidos de magnesio, sulfatos, álcalis, etc. y dentro de la fase de composición promedio del cemento tenemos:

Tipo de cemento	Composición promedio en %				Finura m2/Kg
	C3S	C2S	C3A	C4AF	
I	55	20	12	9	350
II	45	30	7	12	350
III	65	10	12	8	450
IV	25	50	5	13	300
V	40	35	3	14	350

**TABLA 2.3** Composición promedio de los diferentes tipos de cementos. Ref (8)

Esquemáticamente se encuentra representada en el Apéndice B, pero otros



autores muestran un rango mínimo y máximo para cada uno de los elementos tal como lo muestra el Apéndice C. Ref ( 20 )

## 2.2 ALCALIS EN EL CEMENTO Y CONCRETO

El Litio (Li), Sodio (Na), Potasio (K), Rubidio (Rb), Cesio (Cs), son algunos de

los elementos químicos denominados metales alcalis.

Los alcalis sodio y potasio originados de materiales crudos para la fabricación del cemento, viene de arcillas, piedras limosas, margas y arcillas esquistosas. Este tiende a ser volatilizado en partes del horno a altas temperaturas, donde el óxido de potasio es más volátil que el óxido de sodio.

Los componentes alcalis en el clinker son alcalis sulfatos, alcalis aluminato y alumino ferrito y alcalis silicatos. La combinación de estos preferentemente con el clinker SO<sub>3</sub> y cualquier álcali faltante está presente en los silicatos, aluminatos y alumino férricos.

En la industria del cemento se acostumbra combinar y expresar el resultado como el contenido de alcalis total. Las diferencias entre masas moleculares hacen que no se puedan sumar las cantidades de óxido de sodio (Na<sub>2</sub>O=62) y óxido de potasio (K<sub>2</sub>O=94.2) directamente es entonces que se crea un concepto llamado “contenido de alcalis equivalente” y la fórmula para determinarlo es:

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{equiv.}}(\%) = \text{Na}_2\text{O}(\%) + (62/94.2) \text{K}_2\text{O}(\%)$$

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{equiv.}}(\%) = \text{Na}_2\text{O}(\%) + 0.658 \text{K}_2\text{O}$$

El alcalis contenido en el cemento portland , se encuentra por lo general en un

rango de 0.3% al 1.3% pero se han producidos cementos con elevados niveles de alcalinidad. Ref ( 24 )

Dentro de la industria cementera ecuatoriana tenemos a 4 productores en el país, donde los últimos reportes de laboratorios nos dan como resultados, un promedio del contenido de álcalis del cemento producido. A continuación se muestra los resultados analizados:

<b>Cementera ecuatoriana</b>	<b>Contenido de álcalis ( % )</b>
Cementos Selva Alegre	2.03
Cementos Huapán	1.12
Cementos Chimborazo	1.13
Cementos Rocafuerte	1.21

**TABLA 2.4** Alcalis promedio en 1997 de los cementos ecuatorianos  
Fuente: Centro Técnico del Hormigón

El contenido de álcali del cemento es expresado como porcentaje por masa y el contenido de álcali del concreto es convencionalmente expresado como una masa por unidad de volumen ( Kg/m<sup>3</sup> ). Es por eso que el contenido de cemento en el concreto es expresado de la misma manera , de tal modo que el contenido de álcalis de el concreto se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{Na}_2\text{O equiv. concreto ( Kg )} = \frac{\text{Na}_2\text{O equiv. cemento ( \% )} \times ( 1 )}{100} * \text{cemento en el concreto ( Kg )}$$

**m<sup>3</sup>**
**100**
**m<sup>3</sup>**

Es importante notar, que cuando se le adiciona agua al cemento, los óxidos de sodio y potasio reaccionan con el agua , liberando el hidróxido de sodio y el hidróxido de potasio dentro de la pasta de cemento.

Desde 1997 los trabajos a nivel nacional con cemento tipo I, aumentaron en un promedio anual equivalente de contenido de óxido de sodio arriba del 1% por masa.

La tabla 2.5 muestra la relación entre el contenido de álcalis y el contenido de cemento permisible en la mezcla.

	<b>Alcalis en el cemento ( % )</b>	<b>Cemento en la mezcla Kg / m<sup>3</sup></b>
álcalis bajo	0.50	600
	0.55	545
	0.60	500
álcalis medio	0.65	460
	0.70	430
	0.75	400
	0.80	375
	0.85	350
	0.90	335
	0.95	315
álcalis alto	1.00	300
	1.05	285
	1.10	275
	1.15	260

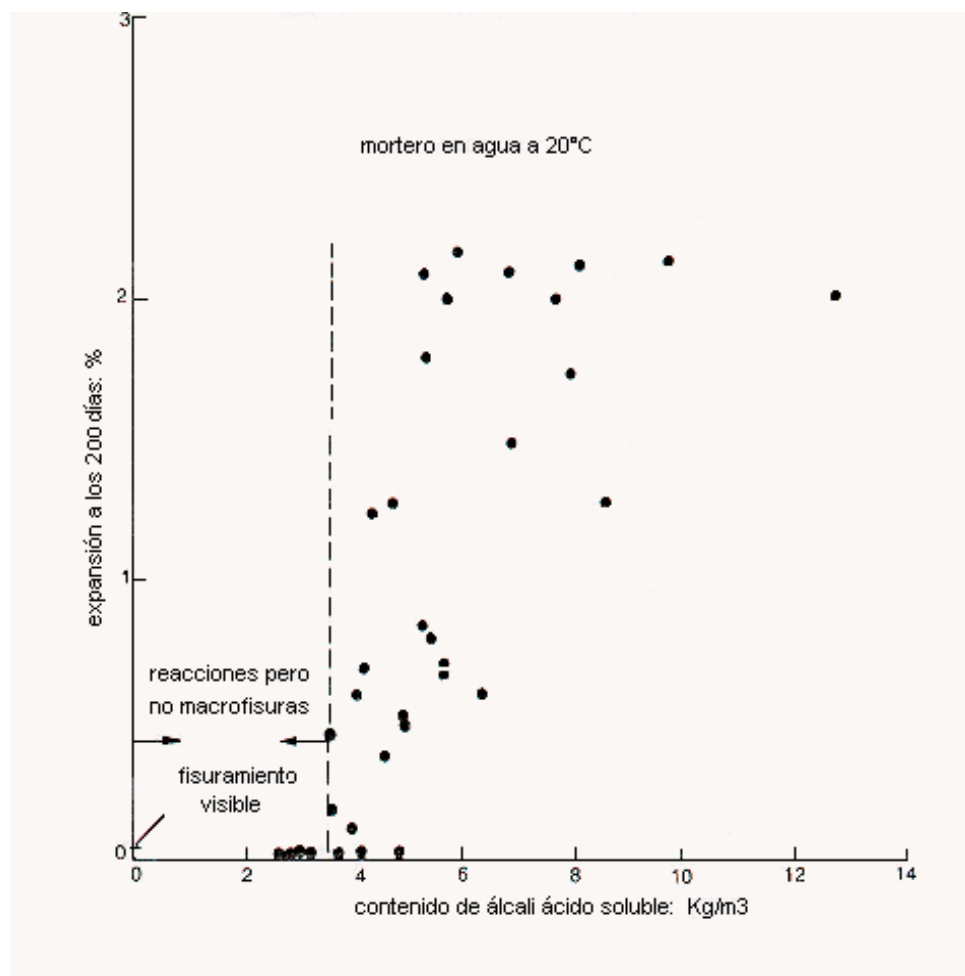
**TABLA 2.5** Rango permisible de álcalis en el cemento. Ref ( 6 y 24 )

El cemento puede ser clasificado de 3 maneras según la cantidad de álcalis que contenga, ellas son:

- a) cemento con alto contenido de álcali: más de 1% de Na<sub>2</sub>O equivalente
- b) medianamente alcalino: de 0.6% a 1% de Na<sub>2</sub>O equivalente
- c) cemento bajamente alcalino: menor de 0.6% de Na<sub>2</sub>O equivalente

Ensayos realizados para identificar el máximo contenido de álcali que puede haber en el hormigón sin presentar fisuras, están dados en el gráfico 2.6,

donde están marcados los puntos con el contenido de álcali en Kg/m<sup>3</sup> y la expansión en 200 días. El rango de contenido de cemento en los morteros es de 340 a 1250 Kg/m<sup>3</sup>.

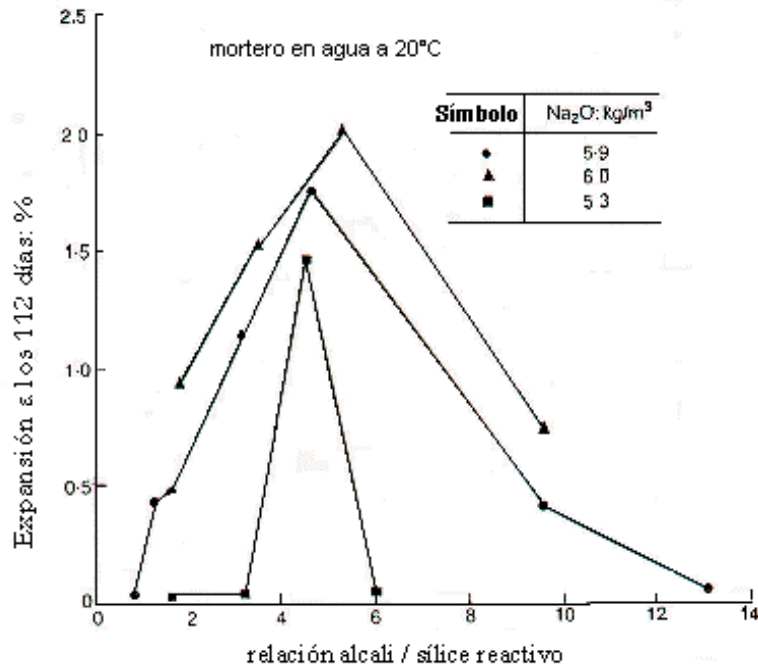


**GRAFICO 2.6** Expansiones obtenidas con contenido de álcali ácido soluble de mortero. Ref ( 11 )

Todos estos puntos convergían a una deducción y a la vez a la comprobación de que por encima de 3.5 Kg/m<sup>3</sup> de contenidos de álcali en el concreto puede ser perjudicial para las obras de concreto.

Otro punto muy importante observado por los laboratoristas, es la obtención del

punto crítico cuando la relación álcali/ sílice reactivo incrementa y alcanza un valor promedio de 4.5 ( $\text{SiO}_2/\text{álcali}$ ) para morteros con contenido de cemento de 670  $\text{Kg}/\text{m}^3$  sumergidos continuamente en agua. Ref ( 11 )



**GRAFICO 2.7** Expansiones en morteros con diferentes relaciones de álcali-sílice

### 2.3 MECANISMO DE REACCION

Para explicar el mecanismo de expansión causada por la reacción álcali agregado, existen 2 teorías planteadas:

La primera es la teoría de presión de la celda osmótica y la segunda, sostiene que hay esfuerzos en el concreto debido al crecimiento del gel por la absorción de poro fluido.

En la primera teoría, la pasta de cemento actúa como una membrana impermeable hacia los iones silicatos. La difusión del agua de poro a través de la membrana

podría acelerar más la reacción.

Para la teoría de la absorción, la expansión dependerá de:

- volumen de concentración del gel
- en el porcentaje de crecimiento y
- de las propiedades físicas del agregado

Si el crecimiento del gel es bajo, la disipación de los esfuerzos internos puede ser por la migración del gel a través de el concreto. Por el contrario, si el crecimiento es rápido, los esfuerzos internos pueden ser capaz de incrementar tan alto, que ocurriría agrietamientos y expansiones en el concreto.

El gráfico 2.8 muestra un ejemplo idealizado de como este fenómeno de reacción ocurre entre la pasta de cemento y el agregado. Varias etapas están involucradas en secuencia:

Etapas 1: Con el pasar del tiempo, empieza aparecer el gel, producto de la reacción con el crecimiento del mismo, se producen esfuerzos internos pero no hay aparición de microfisuras.

Esto se debe a que el agua existente en el medio ( humedad, agua de lluvia, ríos, etc. ) entra por la superficie porosa del concreto y las sales reaccionan con la portlandita en la pasta de cemento , produciendo una solución alcalina que se sumarán a las sales existente derivadas del cemento.

Etapas 2: mientras el gel sigue desarrollándose, provoca que los esfuerzos internos actúen alrededor de las partículas, causando microfisuras y expansiones despreciables.

Etapa 3: los esfuerzos internos aumentan lentamente debido a que el gel que se encontraba alrededor de la partícula, empieza a emigrar hacia el interior de las microfisuras.

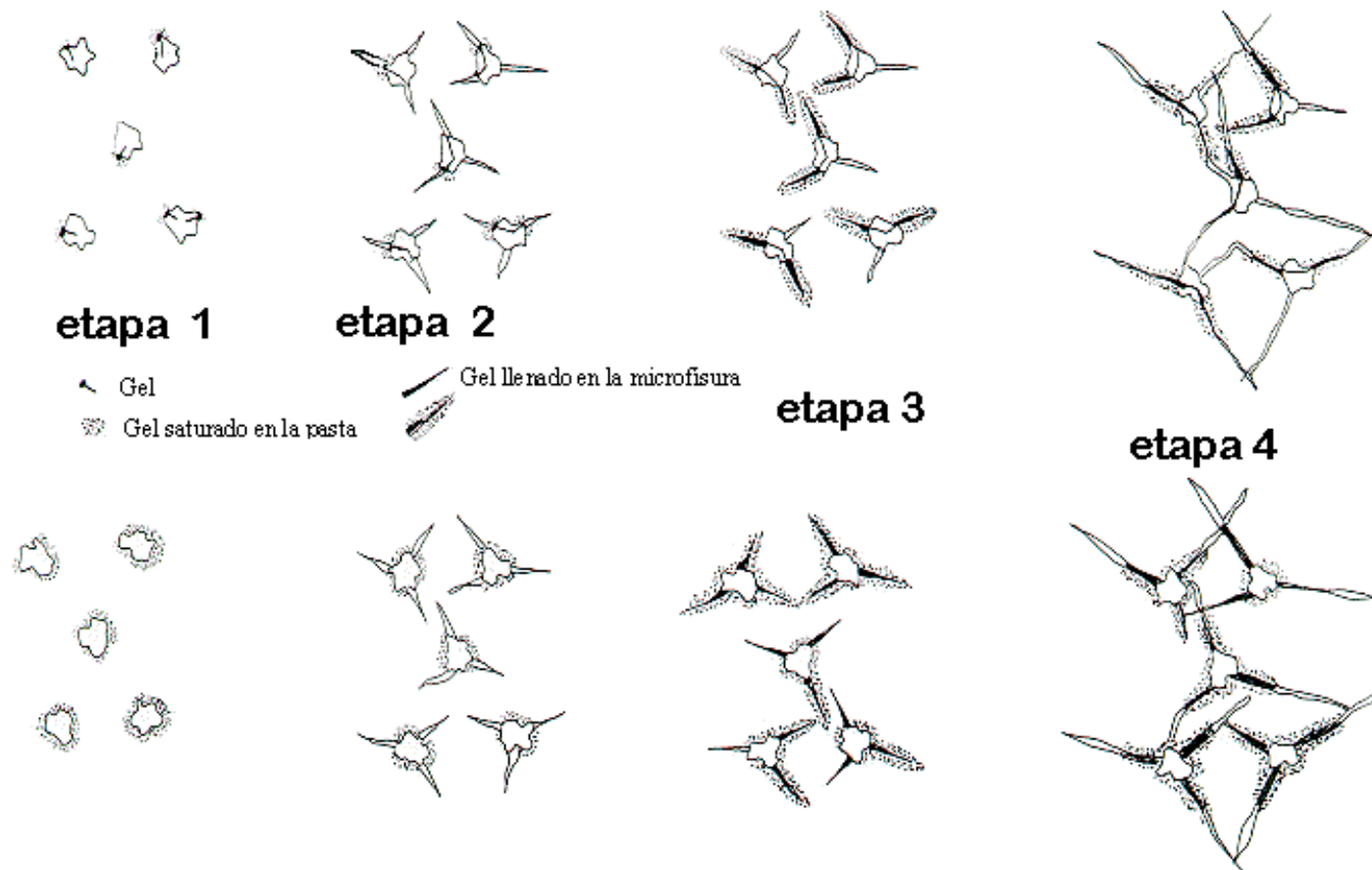
En países donde existe temperaturas bajas, el congelamiento y descongelamiento ayudará para que las grietas se desarrollen con mayor rapidez y crezcan en dimensión por el efecto de cuña ( hinchamiento del agua al congelarse ).

El gel álcali sílice formado, el cual es higroscópico, empieza a tomar agua del medio expandiéndose y aumentando de volumen.

Etapa 4: el gel se almacena en las fisuras y continúa hinchándose, haciendo que se produzcan fuerzas de presión interna en los agregados y alrededor de la pasta de cemento provocando microfisuras suficientemente largas y fácil de ver.

Es entonces que el gel provoca el fisuramiento del agregado y por tanto la pasta de cemento. Pero la expansión interna tendría un sinnúmero de hipótesis que podrían ser escogidas entre ellas están:

- a) Simple dilatación: la expansión y el fisuramiento se deben a incrementos directos de las piezas afectadas de agregados causados por presión hidrostática de la formación del gel.
- b) Presión unidireccional: esta atribuye el congelamiento a presión interna inducida por absorción de agua por el gel durante el periodo de su formación.
- c) Presión osmótica: alrededor de la pasta endurecido, actúa una partícula reactiva como una membrana semi-permeable permitiendo al álcali hidróxido



**GRAFICO 2.8** Modelo idealizado de como se produce la reacción álcali-sílice



dilatarse a través de las partículas, resultando un incremento de presión interna.

d) Dilatación de el gel viscoso: este postulado involucra un crecimiento del gel viscoso con la ejecución de fuerzas en las caras de las partículas del agregado y alrededor de su pasta de cemento. Ref ( 11 )

## **2.4 EFECTO DE ADICION DE SAL EN EL PH**

Varios tipos de problemas pueden darse con respecto a la adición de sales, el cual pueden venir dentro del contacto con el concreto. Por ejemplo, concretos pueden ser expuestos a soluciones de sales tales como cloruro de sodio, sulfato de sodio, etc. Estas sales se comportan de una manera neutra cuando se encuentran en soluciones acuosas. En presencia del cemento, los iones negativos de la sal neutra como el cloruro Cl y el sulfato SO<sub>4</sub>, pueden reaccionar con los componentes de la pasta.

La adición de concentración de sales de sodio y potasio de forma externa, tiende a incrementar la alcalinidad del sistema del cemento y por tanto a prolongar la reacción. Estas limitaciones prácticas y teóricas no hacen disminuir la validez de el concepto, pero indica que hay que tener cuidado al hacer el análisis de datos concernientes a la alcalinidad interna del sistema cemento.

La alcalinidad es expresada en escala logarítmica donde la escala del pH ve el contenido de iones H y OH .

## 2.5 NATURALEZA QUIMICA DEL AGUA DE PORO

Para el diseño de hormigones, uno de los parámetros más importante es la relación agua/ cemento, donde una de las mejores se encuentra entre 0.35 y 0.40. Por lo general, el agua requerida para la hidratación del cemento se encuentra por arriba de 0.24 y el exceso de agua será utilizada para la curación del mismo. Una concreto diseñado con una baja relación de agua/ cemento podría tener una porosidad por arriba de 1 y 2  $\mu\text{m}$  de diámetro pero en los diseños normales, la micro porosidad se encuentra en menos de 1 y 2  $\mu\text{m}$ .

El agua de poro sirve como un puente entre el producto de hidratación del cemento de una forma y el agregado en la otra, las especies solubles se transportan, tales como los iones álcalis a través de ella.

La composición química de la fase acuosa está muy lejos en comparación con la del agua pura y experimentos de varias maneras revelan que cada método tiene sus ventajas y desventajas.

Quizás el método más simple, es preparar silicatos y aluminatos de calcio sintético entre otros y agitarlos individualmente o combinados con un exceso de agua para que periódicamente sea filtrado de la fase acuosa por análisis químico.

Talvés el método más directo y exitoso de obtener la composición del agua de poro es por medio de cilindro de cemento puro, preparado con una relación de agua/cemento real o normal, curados normalmente y posteriormente colocados a una presión alta en una división especial, conocido típicamente como un

exprimidor, al extraer el agua de poro, donde pueden necesitarse presiones muy elevadas. El agua de poro es recogida en un plato base acanalado especial, de esta manera puede ser protegido de la contaminación atmosférica (CO<sub>2</sub>).

Barneyback y Diamond hicieron morteros usando una mezcla de 1:2:0.5 de cemento portland, arena inerte y agua respectivamente. El cemento contenía 0.3% de Na<sub>2</sub>O y 0.93% de K<sub>2</sub>O y el contenido de álcali de la fase acuosa fue determinado en intervalos de 0.5 horas y 70 días. Si todo el álcali del cemento fuera disuelto en el agua de poro, la concentración resultante sería 0.395 M (K<sup>+</sup>) y 0.193 M (Na<sup>+</sup>) dando una concentración total de álcali de 0.588 M.

Entre los 49 y 70 días hubo un aumento bien bajo de las concentraciones hasta llegar a 0.575 M (K<sup>+</sup>) y 0.218 M (Na<sup>+</sup>), donde este incremento fue atribuido al balance entre:

- 1.- llevar adelante la reducción en el importe de agua libre
- 2.- subir el álcali dentro de la fase sólida hidratada y
- 3.- la presencia de una pequeña cantidad de clinker sin hidratar el cual puede tener álcalis.

Algunos de los resultados obtenidos lo muestra la tabla 2.9 de la composición del agua de poro.

Tiempo de curado (días a 22°C)	concentración de iones (x10 mol/l)				
	Na	K	Ca	OH	SO <sub>4</sub>
7	263	613	1	788	23
28	271	629	1	834	31
56	332	695	3	839	44
84	323	639	2	743	27

**TABLA 2.9** Composición química del agua de poro. Ref ( 22 )

En general, las concentraciones de álcali en un rango entre 0.1 y 1 molar, son suficiente para producir calcio muy insoluble, donde su pH puede ser mayor que 12.4 y alcanzar entre 13 y 14. Estudios posteriores al agua de poro, determinarán que la alcalinidad es dominada por el sodio y potasio y no por el calcio.

## **CAPITULO III**

## TIPOS DE AGREGADOS ANALIZADOS

### 3.1 PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS

Los áridos ensayados han sido receptados los laboratorios del Centro Técnico del Hormigón C.T.H. Guayaquil en diferentes fechas, por tal motivo el patrón de presentación sobre la localización de la fuente difiere una de otra.

A continuación se resume el tipo de roca analizado, cantera de donde proviene y localización aproximada.

**TABLA 3.1 AGREGADOS PRODUCIDOS EN GUAYAQUIL**

<b>MUESTRA N°</b>	<b>TIPO DE ROCA</b>	<b>LOCALIZACION</b>
1	Lutita silificada	Cantera Equidor Km 16 vía a la costa
2	Caliza ASTM C33 N°57	Cantera Calcáreos Huayco Km 14 vía a la costa
3	Arenisca silificada	Cantera Mavisa Durán
4	Diabasa	Cantera Cepa (Chivería) vía Daule
5	Tonalita	Cantera Hanna puente la Aurora vía perimetral

**TABLA 3.2 AGREGADOS PRODUCIDOS EN GALAPAGOS**

<b>MUESTRA Nº</b>	<b>TIPO DE ROCA</b>	<b>LOCALIZACION</b>
6	Piroclasto basáltico	Cantera del Ejército Santa Cruz Coord. WGS 0°36,98' S 90°22,00' W

**TABLA 3.3 AGREGADOS PRODUCIDOS EN QUITO**

<b>MUESTRA Nº</b>	<b>TIPO DE ROCA</b>	<b>LOCALIZACION</b>
7 (Fucu Sucu)	volcánica*	Pomasqui - San Antonio cerca del río Guayllabamba
8 (Caspigasi)	volcánica*	San Antonio vía a Calacalí cerro la Marca pared del Pululahua
9 (Inabromco) MZ - 3	volcánica*	Pintag camino a la Mica Km 12 carretera Pifo - Sangolquí
10 (Techint) ZP - A	volcánica*	La Mica al pie de la laguna margen derecha del río desaguadero

\* Se identificará por medio de examinación petrográfica.

### 3.2 CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

A continuación se presenta un resumen de algunas características técnicas analizadas a varios de los agregados estudiados:

**TABLA 3.4 RESISTENCIA A LA COMPRESION**

<b>TIPO</b>	<b>PROCEDENCIA</b>	<b>RESISTENCIA (MPa)</b>	<b>MOD.ELASTICO (GPa)</b>
Caliza	Huayco	200.5	67.9
Lutita silificada	Equidor	71.6	15.8
Diabasa	Cepa	253.4	89.3
Tonalita	Hanna	195.8	74.9
Volcánica	Pintag	171.8	27.2

Ref ( 4 )

**TABLA 3.5 RESISTENCIA DEL AGREGADO**

<b>TIPO</b>	<b>PROCEDENCIA</b>	<b>LOS ANGELES ASTM C-131 % pérdida</b>	<b>VALOR DE TRITURACION % pérdida</b>
Caliza	Huayco	20	26
Lutita silificada	Equidor	21	23
Diabasa	Cepa	17	14.8
Tonalita	Hanna	24.9	22.3
Piroclasto	Galápagos	33	
Volcánica	Pintag	26.7	18.5

Ref ( 4 )



**TABLA 3.6 MASAS UNITARIAS DEL AGREGADO**

<b>TIPO</b>	<b>PROCEDENCIA</b>	<b>M U S</b> (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>M U C</b> (Kg/m <sup>3</sup> )	<b>ABSORCION</b> (%)
Caliza	Huayco	1315-1395	1450-1590	2 a 3
Lutita silificada	Equidor	1200	1355	4.2
Diabasa	Cepa	1450	1650	1.2
Tonalita	Hanna	1360	1430	1.2
Piroclasto	Galápagos	740	865	10.5
Volcánica	Pintag	1180-1195	1255-1260	..

Ref ( 4 )

**MUS** = masa unitaria seca

**MUC** = masa unitaria compactada

## **CAPITULO IV**

## PREPARACION DE MUESTRAS

### 4.1 PREPARACION DEL AGREGADO

Para tener lista la muestra para el ensayo de alcalinidad potencial, el agregado debe pasar por varias etapas consideradas básicas, ellas son:

- a) Selección.- las muestras deberán ser escogidas de la propia cantera a realizar los estudios, estas en lo posible no deberán estar influenciadas por el medio ambiente (meteorizadas) y se escogerá una cantidad suficiente no menor de 5 Kg, con la finalidad que la muestra sea representativa y sin contaminación de otros tipos de agregados .



**FOTO 4.1** Material de acopio en la cantera de Chivería, lista para el transporte para la preparación del hormigón.

- b) Trituración.- Una vez seleccionado el agregado, dependiendo del tamaño escogido, este deberá pasarlo por rodillos para llegar a la granulometría deseada. Es así, que si el tamaño del agregado es muy grueso, tendrá que ser pasado primero por los rodillos de quijada, posteriormente hacer los ajustes necesarios para poder obtener mediante el rodillo liso, toda la granulometría fina para el ensayo establecido por el ASTM C-1260.
- c) Granulometría.- Todo agregado que va a ser analizado por este método de ensayo, debe cumplir con la granulometría que se presenta en la tabla 4.1
- d) Lavado y secado.- una vez obtenido el producto de la molienda y pasado por los tamices indicados en la tabla 4.1 , se hará el lavado para disminuir la cantidad de finos que lleva la muestra. Estas serán colocadas en bandejas para realizar un lavado con la finalidad de eliminar la materia orgánica ( raíces, semillas, hojas, etc. ) que se encuentre presente y por último ser colocado al horno.

TAMAÑO DE TAMICES		
Pasante ASTM	Retenido en:	Masa en %
4.75mm ( N° 4 )	2.36mm ( N° 8 )	10
2.36mm ( N° 8 )	1.18mm ( N° 16 )	25
1.18mm ( N° 16 )	600 μm ( N° 30 )	25
600 μm ( N° 30 )	300 μm ( N° 50 )	25
300 μm ( N° 50 )	150 μm ( N° 100 )	15

**TABLA 4.1** Granulometría necesaria para el ensayo de la barra mortero

- e) Cantidad.- una vez secada la muestra del horno y enfriada, se procederá a la elaboración de 3 barras de mortero de 25 x 25 x 285 mm. Para ello se

necesitará 990 gr. de agregado con las siguientes cantidades tal como lo muestra la tabla 4.2 :

<b>Retenido en</b>	<b>Masa en gr.</b>	<b>% en peso</b>
Nº 8	99	10
Nº 16	247.5	25
Nº 30	247.5	25
Nº 50	247.5	25
Nº 100	148.5	15
	990	100

**TABLA 4.2** Peso necesario para realizar un ensayo en barra mortero



**FOTO 4.2** Material con la granulometría deseada en cada uno de los tamices .

## 4.2 PREPARACION DE LA SOLUCION DE HIDROXIDO DE SODIO

### 4.2.1 PRECAUCIONES:

Antes de usar hidróxido de sodio Na(OH) se debe revisar lo siguiente:

a.-Precauciones de seguridad para usar Na(OH)

b.-Tener equipo para primeros auxilios

c.-Usar el material de seguridad en caso de salpicaduras.

El hidróxido de sodio puede causar severas quemaduras, daño en la piel y ojos a quien no se encuentre protegido. Es conveniente usar los equipos de protección como mascarillas, delantal de caucho y guantes impermeables a Na(OH). Estos guantes deberán ser inspeccionados periódicamente.

### 4.2.2 REACTIVOS:

a.-Hidróxido de Na.- de grado técnico .

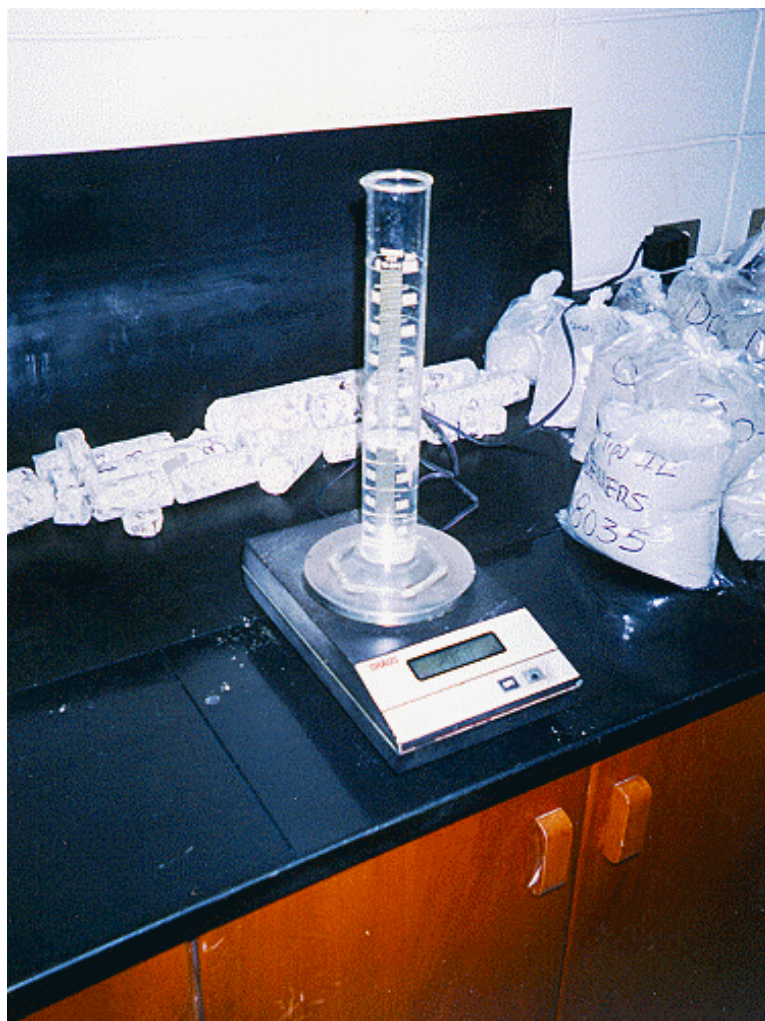
b.-Pureza del agua.- La referencia del agua serán comprendidos conforme al tipo IV de las especificaciones siguientes ASTM D 1193 para agua:

Características	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV
PH a 298°K (25°C)	A	A	A	5 a 8
Total carbón orgánico	100	50	200	no límite
sodio max ug/L	1	5	10	50
cloruros ug/L	1	5	10	50
total sílice ug/L	3	3	500	no límite

A: Las medidas tipo I, II, III han sido eliminado porque estos grados de agua no contienen constituyentes en suficiente cantidad para alterar el PH.

**TABLA 4.3** Tipos de especificaciones para el agua. Ref ( 3 )

c.- Solución de hidróxido de sodio.- cada litro de solución contendrá 40 gr



**FOTO 4.3** Agua requerida para la preparación de las barras de mortero ( 206.8 gr )

de Na(OH) disuelto en agua de tipo IV para producir 1 litro de solución concentración 1 Molar ( M ).

La proporción de volumen de solución de hidróxido de sodio en la barra de mortero en un envase o recipiente será de  $4 \pm 0.5$  volúmenes de solución a un volumen de barra de mortero. El volumen de cada barra puede ser tomado como 184 mL.

#### 4.2.3 PREPARACION:

Debido al gran desprendimiento de calor provocado por la reacción al colocar el hidróxido de Sodio  $\text{Na}(\text{OH})$  en el agua, es preferible que esta se encuentre a baja temperatura e ir colocando poco a poco hasta tener los 200 grs. de  $\text{Na}(\text{OH})$  para completar 5 litros de solución que entren en el recipiente.



**FOTO 4.4** Preparación de 5 litros de solución de hidróxido de sodio.

Ejemplo:

El envase en el cual se sumergirán las barras de mortero tiene un volumen para 4.7 litros tal como lo muestra la foto 4.5 (incluyendo las muestras) pero se preparará para 5 litros :



por c/litro → 40 grs. de Na(OH)

para 5 litros → 200 grs.de Na(OH)

comprobación:

si 6 barras entran en un molde tenemos:

$$184 \text{ mL} \times 6 = 1104 \text{ mL}$$

el rango permisible en volumen es  $4 \pm 0.5$  y si tomo los extremos será:

$$\text{mínimo: } 1104 \times 3.5 = 3.864 \text{ mL}$$

$$\text{máximo: } 1104 \times 4.5 = 4.968 \text{ mL.}$$

Nuestro recipiente contiene alrededor de 4.7 litros por lo que se acepta el rango establecido.



**FOTO 4.5** Moldes de PVC utilizados para sumergir las barras de mortero.

### 4.3 PREPARACION DEL CEMENTO

Para la elaboración de las barras de mortero se usará cemento Portland con las especificaciones de la norma C 150 del ASTM mostrada en la tabla 4.4

La expansión en autoclave ( método en ensayo C 151 ) será menor que 0.2%.

El cemento antes de ser usado deberá ser pasado por el tamiz N° 20 ( 850 um ) para remover grumos en caso de que se hayan formado.

Características	Tipos de cemento				
	I y IA	II y IIA	III y IIIA	IV	V
Dióxido de silicio SiO <sub>2</sub> min %		20			
Oxido de aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> max %		6			
Oxido férrico Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> max %		6		6.5	
Oxido de magnesio MgO max %	6	6	6	6	6
Pérdida en ignición max %	3	3	3	2.5	3
Residuo insoluble max %	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Alcalis equivalente max %	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Expansión en autoclave max %	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

**TABLA 4.4** Características del cemento según la Norma ASTM C 150



**FOTO 4.6** Cantidad necesaria de cemento para la preparación de 3 barras de mortero ( 440 gr. ).

## CAPITULO V

# ENSAYOS PARA DETERMINAR LA REACCION

## INTRODUCCION

Es evidente, que hay la necesidad de conocer un método de ensayo rápido para determinar, si el tipo de agregado utilizado en el hormigón es reactivo o no. Por tanto, se han desarrollado varios métodos en función del tiempo disponible para la prueba.

La tabla del apéndice F muestra una serie de ensayos rápidos que utilizaron los canadienses para conocer cuan reactivos eran sus agregados con un cemento portland con 1.17 % de Na<sub>2</sub>O equivalente. Ref ( 22 )

De los resultados obtenidos en barras de mortero, se encontró que el método NRBI o método acelerado a los 16 días, era razonablemente preciso y capaz de determinar todos los diferentes tipos de agregados reactivos.

Este método fue estudiado por otros laboratorios involucrados en la investigación donde fueron usados agregados inócuos, intermedios y reactivos. El estudio arrojó los resultados esperados en estas experiencias y se dieron cuenta que el contenido de álcali del cemento tenía un efecto menor en la expansión.

Así, este ensayo solo se usó para evaluar tipos de agregados y no combinaciones de cemento agregado.

Existen otros tipos de ensayos para evaluar la reactividad potencial; en las secciones siguientes se hablará de aquellos.

## 5.1 PETROGRAFIA DE LAS BARRAS DE MORTERO

Los agregados son evaluados para su reactividad potencial con los álcalis, en una inspección óptica, se puede establecer la presencia y cantidad de potencial de sílice reactiva dentro de las partículas del agregado.

Para realizar el ensayo se examinan secciones delgadas tomadas de morteros prismáticos afectados, prismas de concreto o de estructuras afectadas y son observadas por un microscopio polarizador en donde se realizan las siguientes observaciones:

- a) Tipo petrográfico de agregado: se basa en un criterio de observación petrográfico en luces de planos polarizados usados para identificar el potencial reactivo o no de agregados reactivos emitidos por la Sociedad del Concreto como guía.
- b) Presencia de microfisuras: si existen microfisuras, es fácil de ser observadas por medio de láminas delgadas y éstas se clasifican según el orden de importancia de la reacción:

M1: sistema de fisuras brillantes o bifurcadas

M2: fisuras que recorren a través de las partículas de los agregados alrededor y dentro de la pasta de cemento.

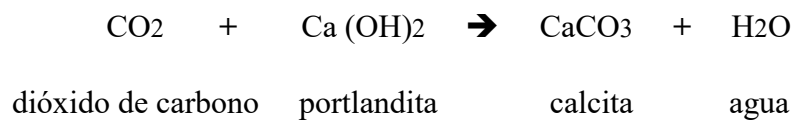
M3: fisuras que recorren alrededor de los filos de las partículas de los agregados.

M4: fisuras confinadas dentro de las partículas del agregado

M5: fisuras no bifurcadas

- c) Presencia de gel álcali sílice: incolora o de coloración amarilla pálida. Por lo general se ubica en los vacíos de la pasta de cemento y del agregado.
- d) Carbonatación: se la identifica por la coloración amarillenta brillante en la pasta de cemento en planos polarizados. La carbonatación indica que el agua penetró al concreto.

El CO<sub>2</sub> del medio ambiente se introduce en la pasta de cemento y reacciona con la portlandita tal como indica la siguiente ecuación:



A veces es difícil determinar cual de los minerales fue responsable de la formación del gel. Ref ( 2 y 24 )

En base al estudio petrográfico realizada a las muestras, las láminas delgadas pueden ser observadas de 3 diferentes maneras:

- a) con luz transmitida
- b) luz polarizada y
- c) radiación ultravioleta

Como se puede apreciar en la foto 1, la muestra con agregado de Fucu-Sucu en luz transmitida, se encuentra constituida por dactilas porfirídicas envueltas en la pasta de cemento. La foto 2, en luz polarizada, refleja en la parte inferior de la

foto la luz brillante debido a la presencia de granos de cuarzo , la coloración oscura es la pasta cementicia que envuelve al agregado. La foto 3 se encuentra expuesta a la luz ultravioleta luego de un tratamiento especial a la lámina delgada , la cual se la baña con una solución de uranil - acetato. La presencia del gel, reaccionará dando una coloración verde fosforescente que rodea la superficie del grano.

Las fotos 4, 5 y 6 en luz transmitida, polarizada y ultravioleta respectivamente, dan a conocer el fisuramiento del agregado de Chivería. La localización de la fisura se encuentra en el lado derecho del agregado más grande, casi en la parte central de la foto. En luz polarizada se aprecia con mayor detalles como la pasta de cemento (coloración negra) rodea a los agregados en un aumento de 63 veces.

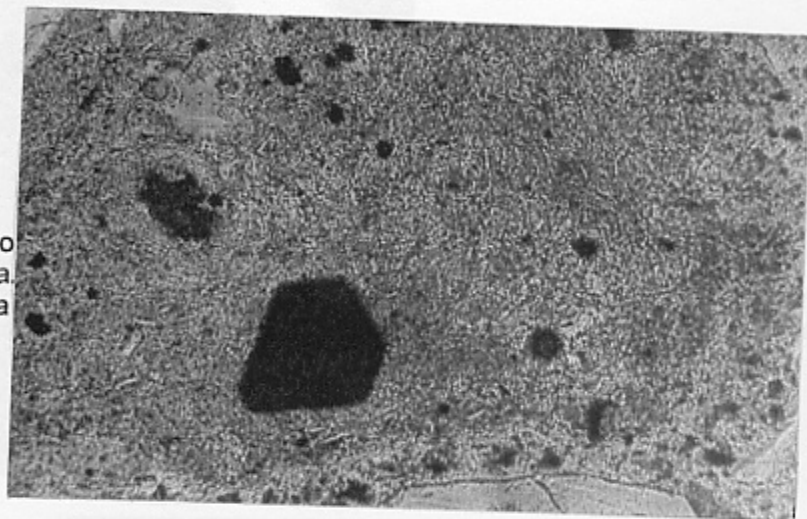
En la foto 7 y 8 se ve otra toma con el agregado de Fucu-Sucu. Hay la presencia de dacitas, cuarzo en mayor cantidad, feldespatos y fisuras las que han sido rellenadas por el gel.

Como se observa en las foto 9 y 10, la mayor parte del espacio lo ocupa un grano de feldespato que se halla con una fisura vertical debido a la formación del gel producto de la reacción álcali agregado.

REACCIÓN ALCALI AGREGADO EN BARRAS DE MORTERO  
SEGUN LA NORMA ASTM C-1260

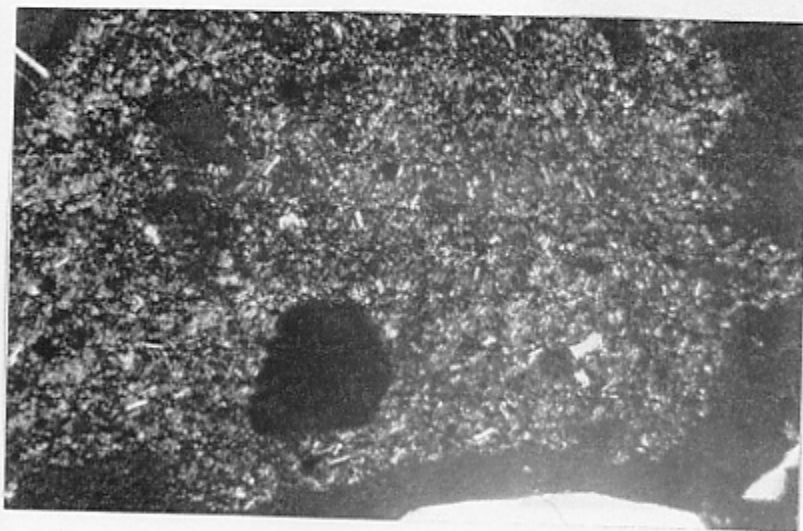
**FOTO 1**

Dacita porfirídica de San Antonio  
(Fucu - Sucu) Luz transmitida.  
El relieve se confunde con la  
pasta cementicia  
(63X)



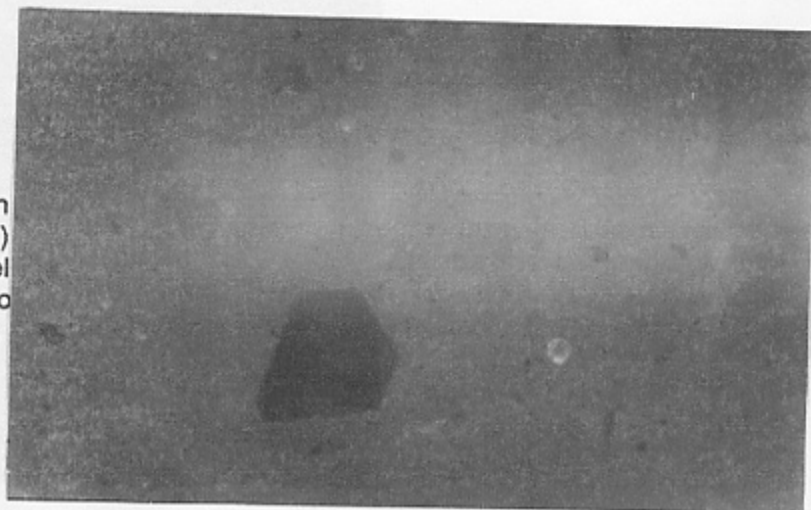
**FOTO 2**

Foto anterior vista en luz polarizada  
Se nota la interfase agregado - pasta  
de cemento (color negro) y  
cuarzo en la parte inferior de la foto.  
(63X)



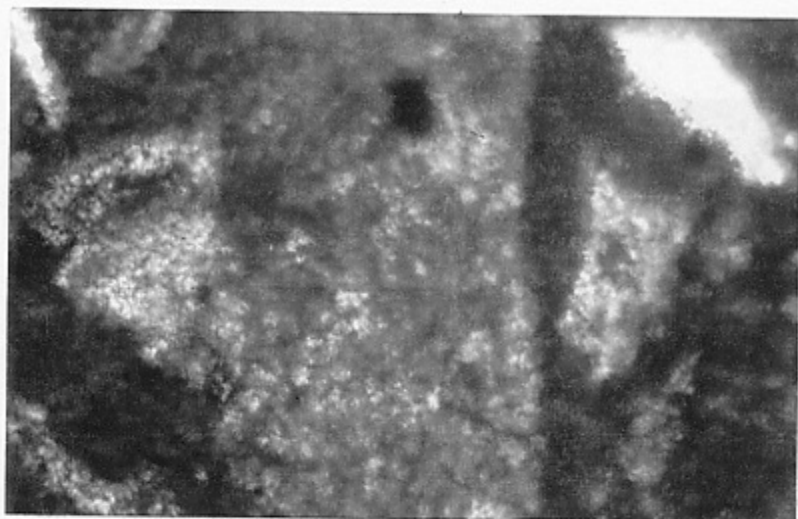
**FOTO 3**

Foto anterior expuesta a radiación  
ultravioleta de onda corta (254nm)  
Se observa la fluorescencia del gel  
alrededor del árido luego de tratarlo  
con una solución de uranil-acetato.





REACCION ALCALI AGREGADO EN BARRAS DE MORTERO  
SEGUN LA NORMA ASTM C-1260

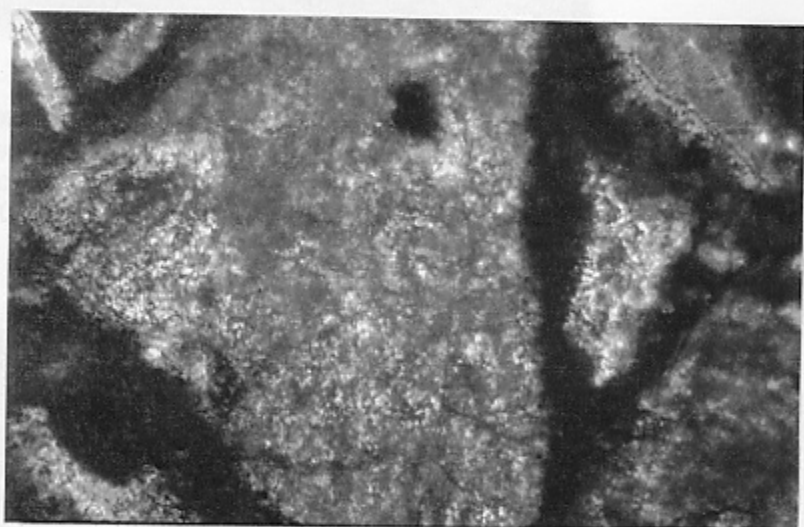


**FOTO 4**

Diabasa de la zona de Chivería Guayaquil observada en luz transmitida. El árido más grande presenta una fisura en su extremo derecho.  
(63X)

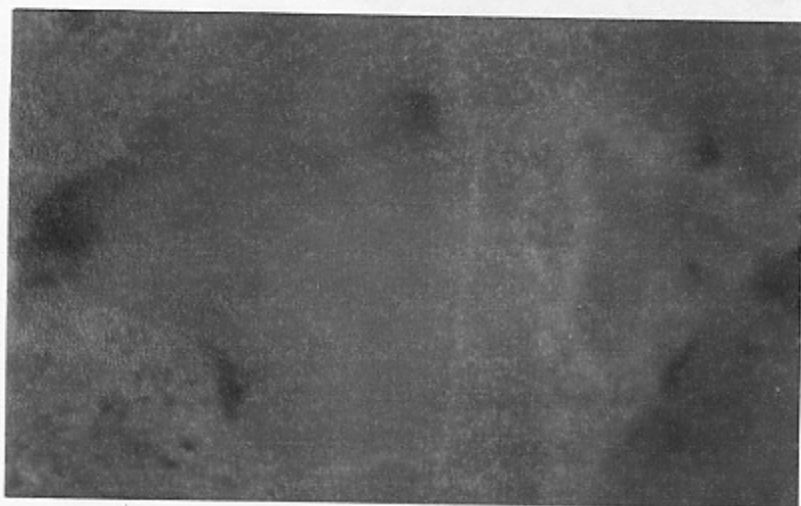
**FOTO 5**

Foto anterior a la luz polarizada. Se diferencia de mejor manera los bordes de los agregados y la pasta.

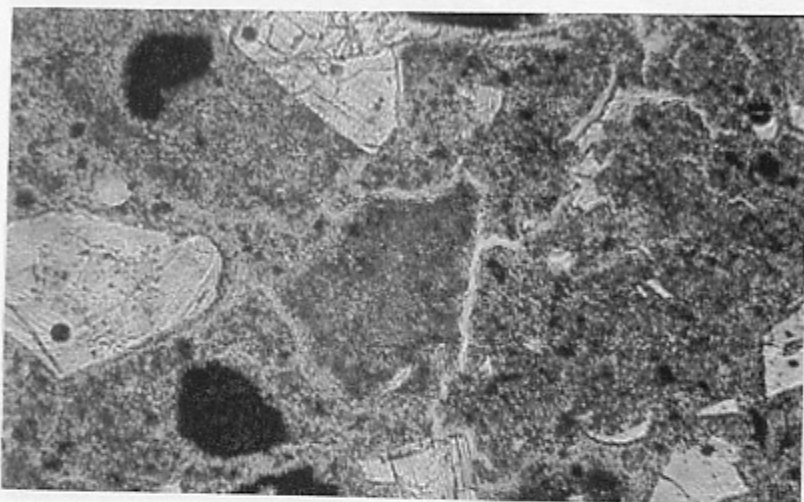


**FOTO 6**

Foto anterior expuesta a la luz ultravioleta de onda corta (254nm). Se observa fluorescencia del gel (verde brillante) relleno de la fisura del agregado y rodeando la superficie de los áridos.

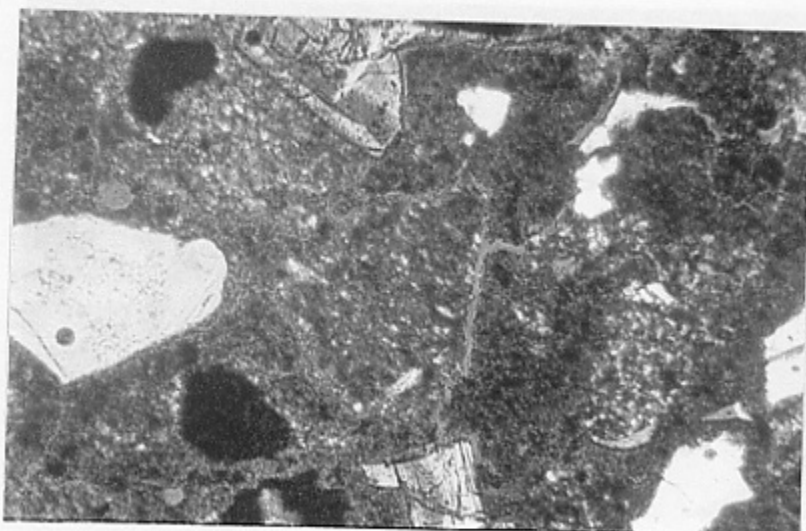


**REACCION ALCALI AGREGADO EN BARRAS DE MORTERO  
SEGUN LA NORMA ASTM C-1260**



**FOTO 7**

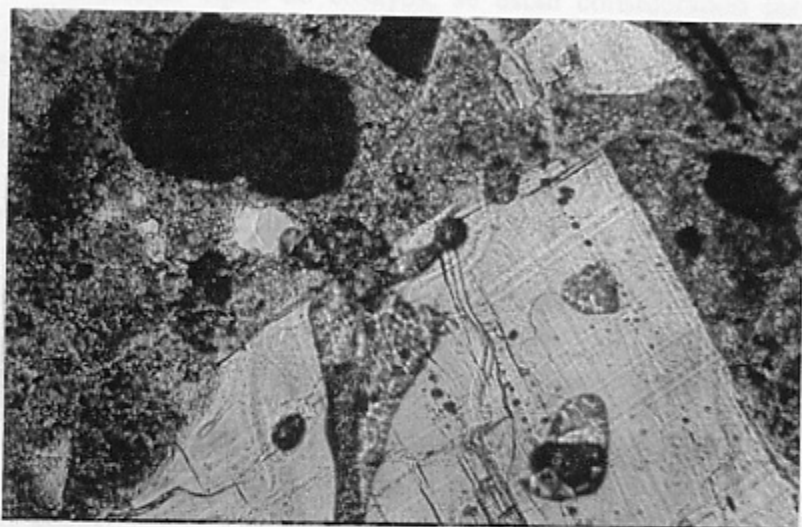
Dacitas alteradas, granos de cuarzo zonado y feldspatos provenientes de San Antonio de Quito ( Fucu-Sucu ) Presenta bordes de reacción con gel que también rellenan fisuras. ( 40X )



**FOTO 8**

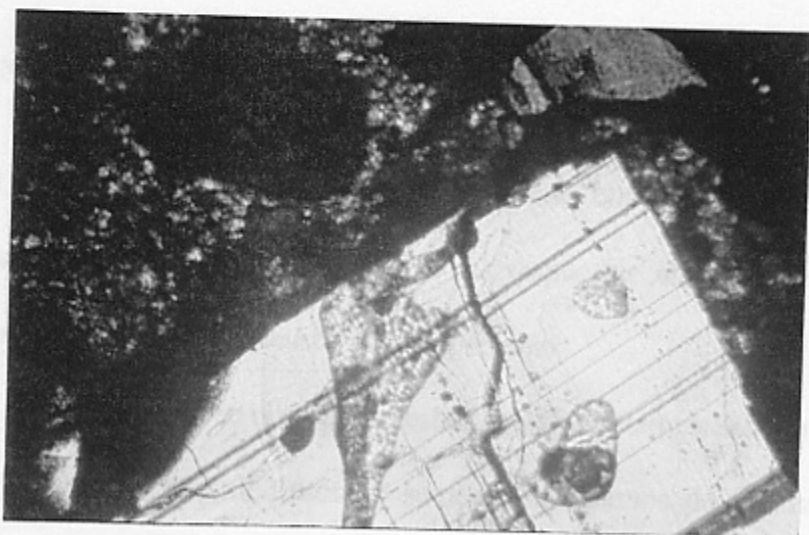
Foto anterior vista en luz polarizada.  
( 40X )

**REACCION ALCALI AGREGADO EN BARRAS DE MORTERO  
SEGUN LA NORMA ASTM C-1260**



**FOTO 9**

Fisuras en pasta y áridos provenientes de San Antonio (Fucu-Sucu). Luz transmitida (63X).



**FOTO 10**

Foto anterior en luz polarizada  
Se observa fisura en el feldespato.

## **5.2 ENSAYOS NO CONSIDERADOS EN LA TESIS**

Al realizar diferentes tipos de ensayos, se están considerando las diferentes condiciones tales como el contenido de cemento, adición de álcalis a la mezcla, temperaturas, tiempos, entre otras.

La interpretación de los resultados deberán ser analizados con mucho cuidado, puesto que al hacerlo se tendrá en cuenta 2 razones: la primera, que los efectos físicos en la reacción pueden ser de diferentes maneras y la segunda es que bajo las condiciones antes mencionadas, algunos de los constituyentes silíceos en el hormigón pueden reaccionar de varias maneras ante temperaturas no usuales o con concentraciones de álcalis elevado.

Entre los ensayos más conocidos que se realizan a los agregados y a la combinación de agregado-cemento, se hablará brevemente de cada uno de ellos.

### **5.2.1 ENSAYO RAPIDO QUIMICO**

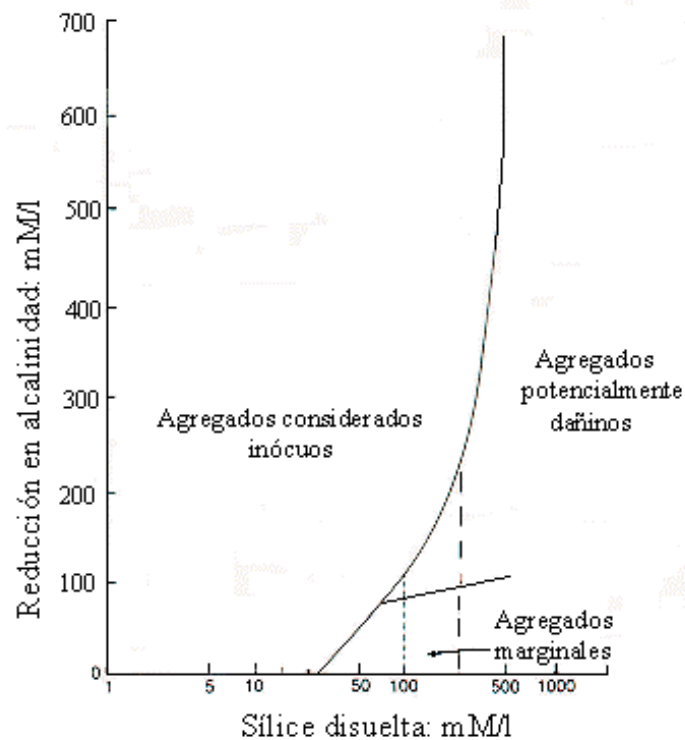
El método de ensayo rápido químico es el más conocido para determinar la reactividad de los agregados, ya que sus respuestas obtenidas son bastante claras y el periodo de tiempo es muy pequeño.

El ensayo consiste en obtener muestras molidas y tamizadas con un tamaño entre  $150\mu\text{m}$  y  $300\mu\text{m}$ . Entonces se pesará 25 gramos de la misma y será colocado en 25 ml de solución de hidróxido de sodio con concentración 1 M (molar) a  $80^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

Posteriormente la solución es filtrada y analizada por el sílice disuelto y la

reducción de alcalinidad de la solución determinada por titulación con ácido. El ensayo se lo repite 3 veces y los resultados serán chequeados en la curva patrón del gráfico 5.1 .

Si los resultados apuntan hacia el lado izquierdo de la curva, el agregado es considerado como inerte, pero si los resultados tienden hacia la derecha, el agregado hará levantar la expansión cuando se utilice un alto contenido de álcali en el concreto.



**GRAFICO 5.1** Curva de división para materiales inócuos o dañinos en el método rápido químico

La curva se obtuvo de un sinnúmero de resultados de ensayos de barras de mortero usando un contenido de álcalis en el cemento, de exámenes petrográficos de agregados y del campo de acción de

agregados en el cemento y la curva quedó definido de la siguiente manera.

Ref ( 11 y 19 )

En caso de que los resultados analizados estuvieran en un rango de 100 y 250 mM/l o menor de sílice disuelto, el agregado es improbable que cause una expansión significativa en el concreto, aún cuando una baja reducción de alcalinidad resulte en el ensayo y alta relación disuelta de sílice / reducción alcalina indique que el agregado es potencialmente dañino.

Si el agregado falla en este resultado, el agregado es considerado reactivo a menos que en otros servicios grabados por el ASTM en barras de morteros hayan sido identificadas como inócuos.

### **5.2.2 ENSAYO DE LA PASTILLA DE MORTERO (GEL PAT TEST)**

Las pedazos de agregado bajo ensayo son moldeados dentro de la porción de la pasta de cemento, y una vez que se haya hecho el curado respectivo, son motivo de exposición del mismo. Agregado mayor de 5 mm son reducidos por una ligera molienda antes del ensayo.

Las porciones son sumergidas en una solución consistente de agua destilada conteniendo 20 gr/lit de hidróxido de sodio y 28 gr/lit de hidróxido de potasio. El agregado será considerado no reactivo si no presenta signos de crecimiento de gel a simple vista a los 28 días de haber sido almacenado. La norma del ensayo indica realizarla a 20°C pero una elevada temperatura puede ser usada si es deseado.

La presencia de sílice reactivo en el agregado, dará la formación del gel y será observado dentro de los primeros 7 días de realizar la prueba pero puede extenderse hasta un plazo de 28 días. Si la muestra no reacciona después de la cuarta semana nos indicará que el agregado no es reactivo aunque algunos casos particulares necesitan de más tiempo y elevadas temperaturas.

Si el agregado reacciona en este ensayo y se conoce poco sobre su comportamiento, es necesario realizar ensayos de expansión en prismas de mortero o prisma de concreto para chequear la reacción que pueda darse en ella.

Este método es inapropiado para partículas más pequeñas que  $600\mu\text{m}$  porque las partículas son fáciles de arrancar de la capa de cemento a examinar por el proceso de cepillado.

El principal propósito del ensayo es dar una indicación rápida del potencial reactivo del agregado y se recomienda que para resultados positivos se confirme por examinación petrográfica en prismas de concreto. Ref ( 11 )

### **5.2.3 ENSAYO DE LA CELDA OSMOTICA**

El ensayo consiste en simular parcialmente la superficie de contacto entre las partículas del agregado y la pasta de cemento.

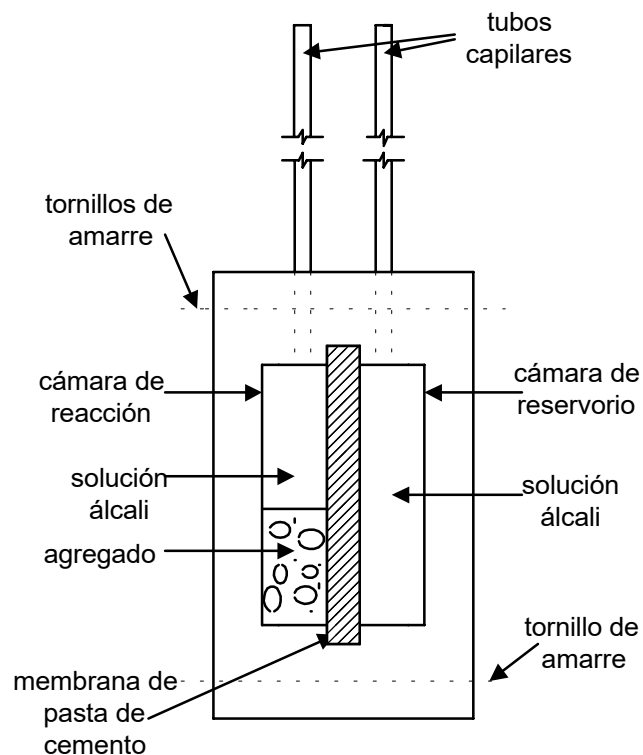
La figura 5.2 muestra un diagrama esquemático de la celda osmótica, se utilizan entre 10 y 20 gramos de la muestra a estudiar, con un tamaño

entre 150 y 300  $\mu\text{m}$ , colocado en una cámara llena de solución de hidróxido de sodio a 1 M (molar). La cámara está conectada por una membrana de pasta de cemento de una relación agua/cemento de 0.55 hacia una segunda cámara llena igual de hidróxido de sodio 1M.

Cuando la reacción ocurre, la solución fluye desde la cámara de reservorio a través de la membrana de la pasta de cemento y dentro de la cámara de reacción.

La reactividad en el agregado es indicado por la diferencia en peso en los tubos capilares verticales conectados a cada cámara.

Si los agregados contienen ópalo, muestra una reactividad a los 3 días, pero para otros menos reactivos como la andesita serán a los 14 días hasta un máximo de 2 años.



**GRAFICO 5.2** Diagrama de la celda osmótica



#### **5.2.4 ANALISIS DE RAYOS X**

Es otro método para determinar la reactividad de los agregados por medio del poder de la difracción (desviación del rayo luminoso al rozar el borde de un cuerpo opaco) usando rayos "X".

La petrografía puede asistir a la examinación y alcanzar un juicio probable de la sensibilidad alcalina del agregado.

La técnica puede detectar la presencia de minerales en un orden tan pequeño como 0.5% por masa de agregado y detectar minerales finamente dispersos, visibles bajo un microscopio óptico.

Esto da a entender que estas difracciones son estudiadas en base al desordenamiento de la red cristalina que conforma el concreto.

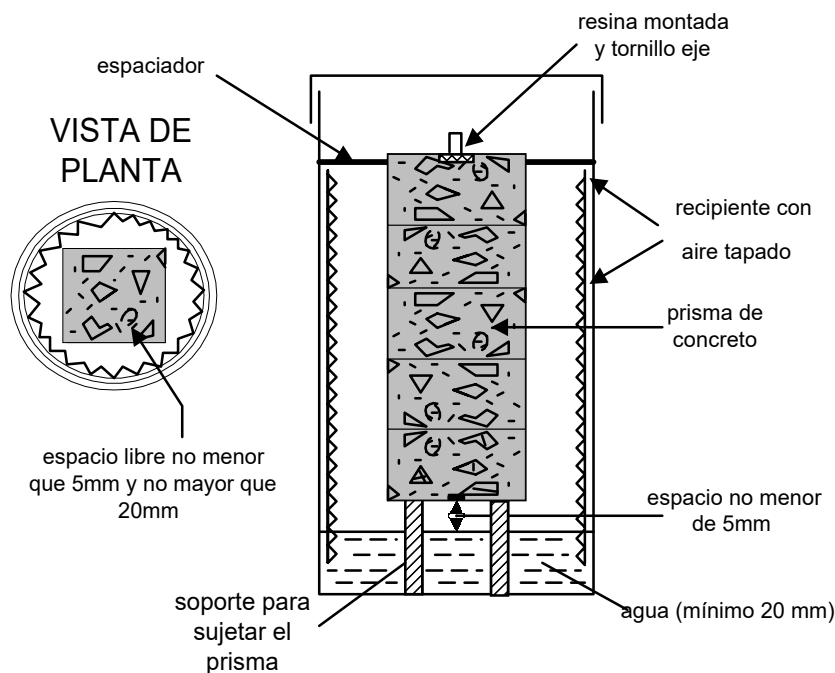
#### **5.2.5 ENSAYO DEL PRISMA DE CONCRETO**

Para determinar la reactividad alcalina, también se realizan prisma de concreto o cubos. El principio de este ensayo es usar una granulometría del material a estudiar con un cemento altamente alcalino, donde después del desencofrado a las 24 horas, serán colocados en cámaras de agua de 20 a 38°C hasta por un año.

En ciertos ensayos el nivel del álcali es elevado por la suma adicional de álcalis de hidróxido de sodio o potasio o sulfatos de sodio y potasio.

Una revisión periódica a la expansión y a la apariencia de la muestra serán observados. La figura 5.3 muestra uno de estos recipientes los cuales sirve

para colocar los prisma de concreto.



**GRAFICO 5.3** Recipiente para proveer un ambiente húmedo para el prisma de concreto.

En el método canadiense parecido al ASTM C227 donde las dimensiones del prisma son 75x75x350 mm, donde la granulometría es diferente y la relación agua / cemento es 0.45, los áridos serán clasificados como dañinos si:

- la expansión excede al 0.03% a cualquier edad
- la expansión excede al 0.02% a la edad de 3 meses

Existen varios ensayos como el método Sudafricano, el método Draft BS 812, el método de la Asociación del cemento y concreto donde cada uno de ellos tienen su manera particular de analizar en base a las medidas de los prismas, contenido de los álcalis, medio y temperatura de inmersión de la muestra, relación agua/ cemento y porcentaje de expansión a los diferentes

tiempos de análisis de los prismas o cubos. Ref ( 11 y 24 )

Dentro del sinnúmero de ensayos que existen para determinar la reactividad alcalina, además tenemos:

- Ensayo de disolución Alemán
- Método de expansión barra mortero ASTM C227-81
- Ensayo del prisma mortero de la Asociación del Cemento y Concreto

### **5.3 ENSAYO DEL METODO ACELERADO ( ASTM C-1260 )**

De todos los métodos de ensayos acelerados para la identificación de agregados potencialmente reactivos, es uno de los más confiables y de mayor aceptación pues permite conocer dentro de 16 días, si existe una reacción álcali agregado en la pasta de cemento.

El ensayo se basa en la norma ASTM C-1260, implementado por primera vez en 1994 y consiste en poner a prueba barras de mortero elaborados con el agregado a ser analizado y sometidas a un curado acelerado en una solución de hidróxido de sodio a una concentración 1 Molar y 80°C; se miden los cambios de longitud de las barras en un mínimo de 16 días.

#### **5.3.1 PREPACION Y MOLDEO**

Para la preparación de las barras, se deberá seguir las secciones del capítulo IV con cada uno de los materiales que la conforman (agregado, solución de hidróxido de sodio, agua y cemento) tal como lo muestra la foto

5.1



**FOTO 5.1** Materiales listos para la preparación de las barras

Las dimensiones de las barras serán de 25 x 25 x 285 mm tal como lo muestran los moldes del Apéndice D o en el ASTM C490-93.

La preparación del mortero se lo realiza mecánicamente con un mezcledor como se muestra en la foto I . Las relaciones tomadas en cuenta son:

cemento/agregado 1:2,25 y agua/cemento 0.47, equivalente a:

990 gr de agregado (de diferente granulometría)

440 gr de cemento

206.8 gr de agua

La mezcla de realizará con los requerimientos de la norma de práctica C305

del ASTM como muestra el Apéndice E .

Una vez listo el mortero, este se llena en los moldes en 2 capas iguales compactadas como lo muestra la foto II y III del Apéndice con un pisón de caucho, evitando que las esquinas queden sin compactar y posteriormente sean puntos débiles de ruptura; los moldes se los cubre con polietileno y se los cura en una cámara donde la humedad relativa sea mayor del 50% .

Las barras se las desencofra a las 24 horas e inmediatamente son colocadas en recipientes con agua herméticamente sellados y colocados al horno a una temperatura  $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por un periodo de 24 horas ( ver fotos IV,V,VI).

### **5.3.2 LECTURAS**

La primera lectura de las barras será tomada a las 48 horas del moldeo, en el aparato mostrado en la foto VII a temperatura ambiente y en un intervalo máximo de  $15 \pm 5$  seg. luego de sacarlo del recipiente con agua. Una vez tomadas las lecturas, las muestras serán depositadas en un recipiente que contiene solución de hidróxido de sodio 1 Molar ya preparada como indica la sección 4.2 sellada y puesta al horno a la misma temperatura (  $80^{\circ}\text{C}$  ).

Las lecturas seguirán tomándose preferentemente a los 3, 7 y 14 días de la lectura inicial a la misma hora, para medir la longitud desarrollada por

la expansión.

El recipiente utilizado para sumergir las barras debe estar constituido por un material plástico que pueda soportar la solución y las altas temperaturas.

### 5.3.3 CALCULOS

El cálculo para el cambio de longitud de la barra a cualquier edad, se lo realiza de la siguiente manera:

$$L = \frac{(L_x - L_i)}{G} \times 100$$

donde:

L= cambio de longitud a la edad n días; en %

L<sub>x</sub>= lectura tomada a los n días ( en pulg.)

L<sub>i</sub>= lectura inicial de la barra ( a los 2 días de moldeo )

G= 10 si las lecturas son en pulgadas o 250 si son tomadas en milímetros

El cálculo se lo hará con una aproximación de 0.001 y se tomará el promedio de las tres barras para cada periodo de consideración.

Agregados que generen expansiones menores que 0.1% a los 16 días son clasificados como inócuos.

Agregados que generen expansiones mayores del 0.2% a los 16 días se consideran como agregados potencialmente dañinos.

Agregados que generen entre 0.1 y 0.2% de expansión pueden estar conformados por partículas inócuas y dañinas, por esta razón es preferible tomar lecturas hasta los 28 días para su reconocimiento. Ref ( 2 )

Si las barras analizadas presentan expansiones considerables, es conveniente realizar un estudio adicional en las mismas; por ejemplo se pueden realizar determinaciones petrográficas con la finalidad de reconocer los productos de las reacciones ( gel ).

Posteriormente se puede complementar el estudio con una prueba directa de la expansión en probetas de hormigón confeccionadas con el mismo cemento y utilizando la dosificación que se planifica utilizar .

#### **5.4 RESULTADOS**

A continuación se sintetizan los resultados obtenidos de las pruebas por el método acelerado ASTM C-1260 realizadas a cada uno de las muestras consideradas en este estudio y por tanto su clasificación como árido reactivo o inócuo; posteriormente también se presentan los resultados detallados individuales de cada prueba con las lecturas individuales de expansión en las tres (3) barras de mortero por cada muestra analizada.

Como parte de los resultados se presentan las fotografías de la reacción álcali agregado en la sección 5.1 mostrando la producción del gel en varias de ellas confirmando el carácter reactivo y peligroso de varios agregados de nuestro país.

RESULTADO N° 1

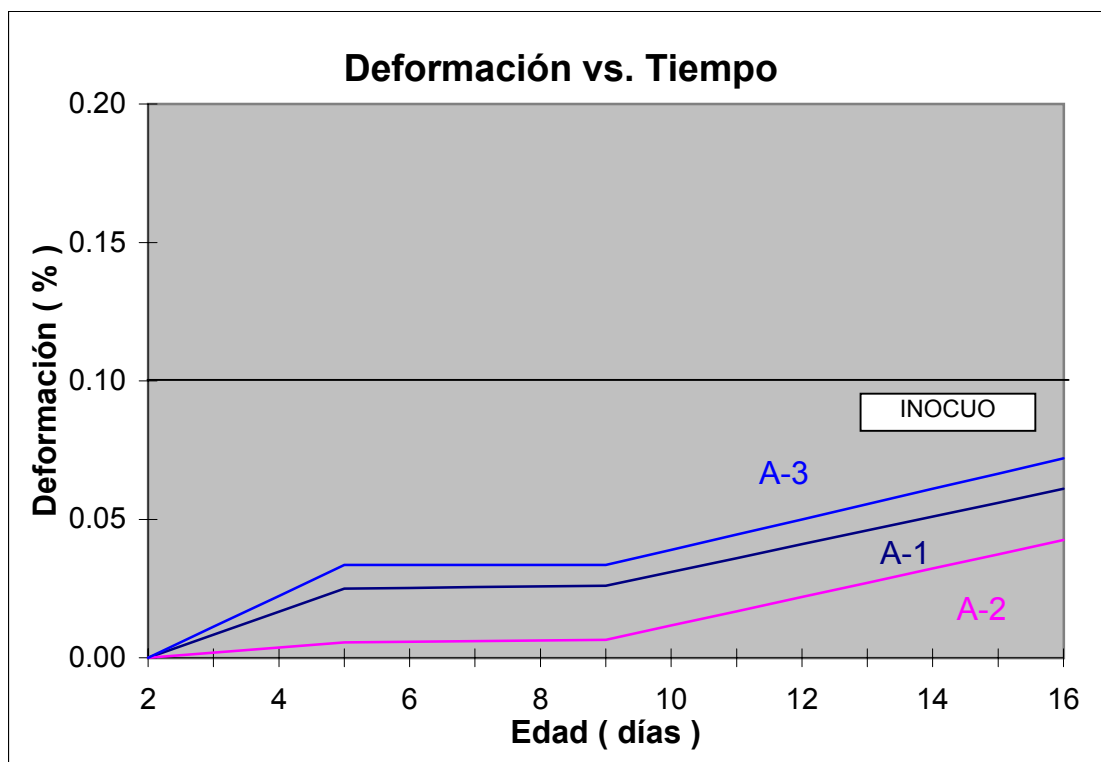
**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

Fecha de inicio del Ensayo 97-11-12  
Fecha de culminación del Ensayo 97-11-28

**AGREGADO**  
**Tipo:** Piedra Triturada  
Lutita silíceo  
**Fuente:** Cantera Equidor  
**Geología:** Formación Guayaquil

**CEMENTO**  
**Tipo:** INEN IE (Rocafuerte)  
**Fuente:** La Cemento Nacional  
**Expansión en autoclave:** 0.0003%  
**Alcalis Totales:** 1.13%

Muestra #	Lecturas relativas (pulg)				Deformación (%)			
	Li 2 días	Lx			2 días	5 días	9 días	16 días
		5 días	9 días	16 días				
A-1	0.17550	0.1780	0.1781	0.1816	0.0	0.025	0.026	0.061
A-2	0.16185	0.1624	0.1625	0.1661	0.0	0.005	0.007	0.043
A-3	0.17430	0.1777	0.1777	0.1815	0.0	0.033	0.033	0.072
					Promedio	0.021	0.022	0.059





RESULTADO N° 2

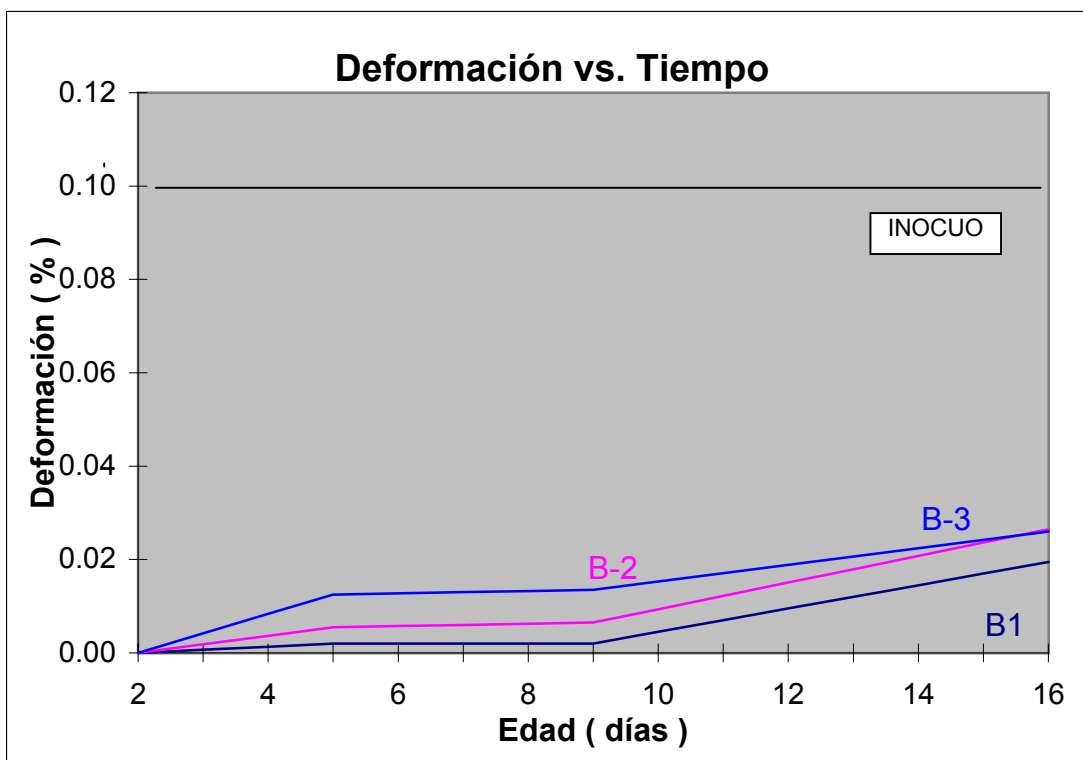
**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

Fecha de inicio del Ensayo 97-11-12  
Fecha de culminación del Ensayo 97-11-28

**AGREGADO**  
**Tipo:** Piedra Homogenizada  
N°57 (5-25mm)  
**Fuente:** Cantera Calcáreos Huayco  
**Geología:** Formación San Eduardo

**CEMENTO**  
**Tipo:** INEN IE (Rocafuerte)  
**Fuente:** La Cemento Nacional  
**Expansión en autoclave:** 0.0003%  
**Alcalis Totales:** 1.13%

Muestra #	Lecturas relativas (pulg)				Deformación ( % )			
	Li 2 días	Lx			2 días	5 días	9 días	16 días
		5 días	9 días	16 días				
B-1	0.17200	0.17220	0.17220	0.17395	0.0	0.002	0.002	0.020
B-2	0.15185	0.15240	0.15250	0.15450	0.0	0.005	0.006	0.026
B-3	0.16275	0.16400	0.16410	0.16535	0.0	0.013	0.013	0.026
					Promedio	0.007	0.007	0.024



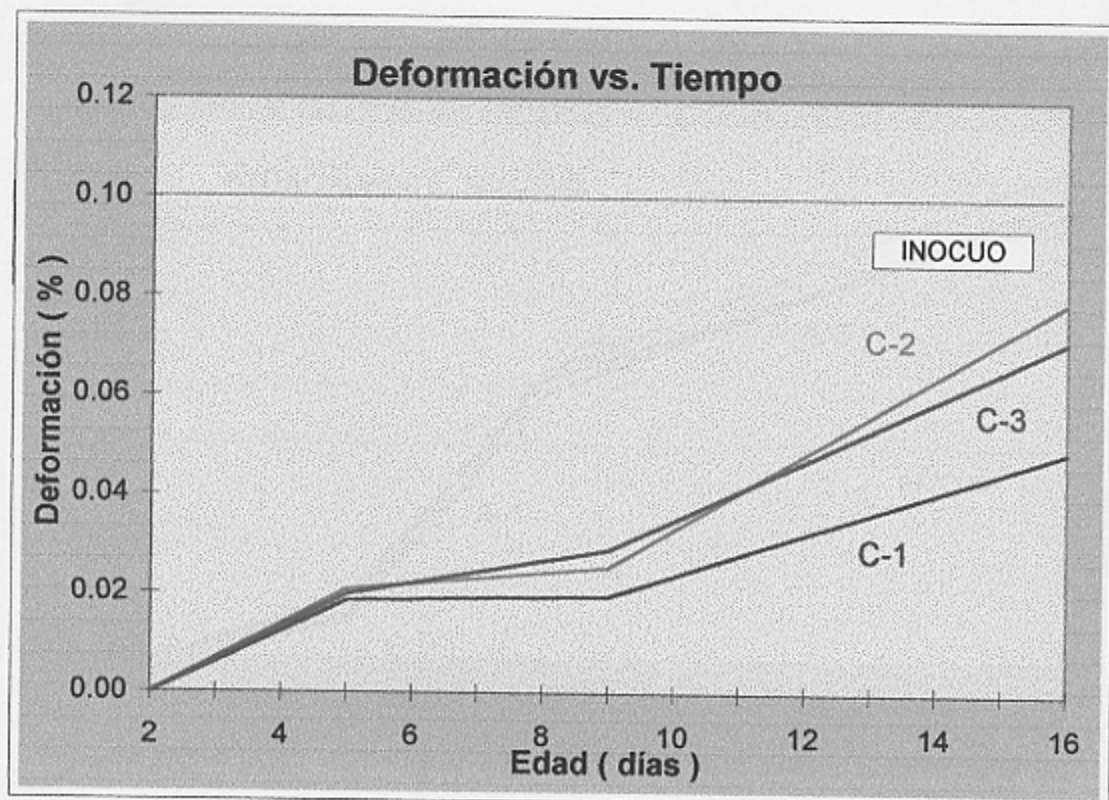
**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

Fecha de inicio del Ensayo 97-11-12  
Fecha de culminación del Ensayo 97-11-28

**AGREGADO**  
Tipo: Piedra Triturada  
Fuente: Mavisa Durán

**CEMENTO**  
Tipo: INEN IE (Rocafuerte)  
Fuente: La Cemento Nacional  
Expansión en autoclave: 0.0003%  
Alcalis Totales: 1.13%

Muestra #	Lecturas relativas (pulg)				Deformación (%)			
	Li		Lx		2 días	5 días	9 días	16 días
	2 días	5 días	9 días	16 días				
C-1	0.17033	0.17220	0.17230	0.17525	0.0	0.019	0.020	0.049
C-2	0.16625	0.16835	0.16880	0.17420	0.0	0.021	0.026	0.079
C-3	0.16410	0.16610	0.16700	0.17125	0.0	0.020	0.029	0.072
Promedio						0.020	0.025	0.067



RESULTADO N° 4

**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

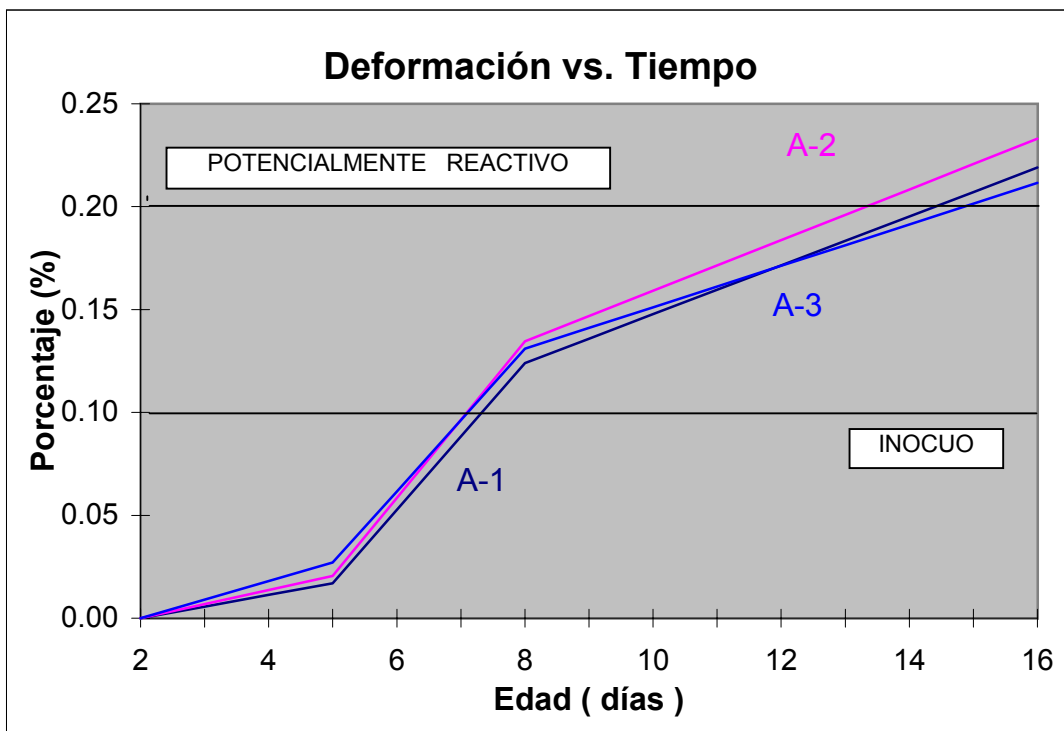
Fecha de inicio del Ensayo 97-12-17

Fecha de culminación del Ensayo 98-01-02

**AGREGADO**  
**Tipo:** Ripio triturado  
**Fuente:** Cantera Cepa Chivería  
**Geología:** Formación Piñón

**CEMENTO**  
**Tipo:** INEN IE (Rocafuerte)  
**Fuente:** La Cemento Nacional  
**Expansión en autoclave:** 0.0003%  
**Alcalis Totales:** 1.10%

Muestra #	Lecturas relativas (pulg)				Deformación (%)			
	Li 2 días	Lx			2 días	5 días	8 días	16 días
		5 días	8 días	16 días				
A-1	0.16180	0.16350	0.17420	0.18370	0.0	0.017	0.124	0.219
A-2	0.18850	0.19055	0.20195	0.21180	0.0	0.021	0.135	0.233
A-3	0.16660	0.16930	0.17970	0.18775	0.0	0.027	0.131	0.212
					Promedio	0.022	0.130	0.221



RESULTADO N° 5

**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

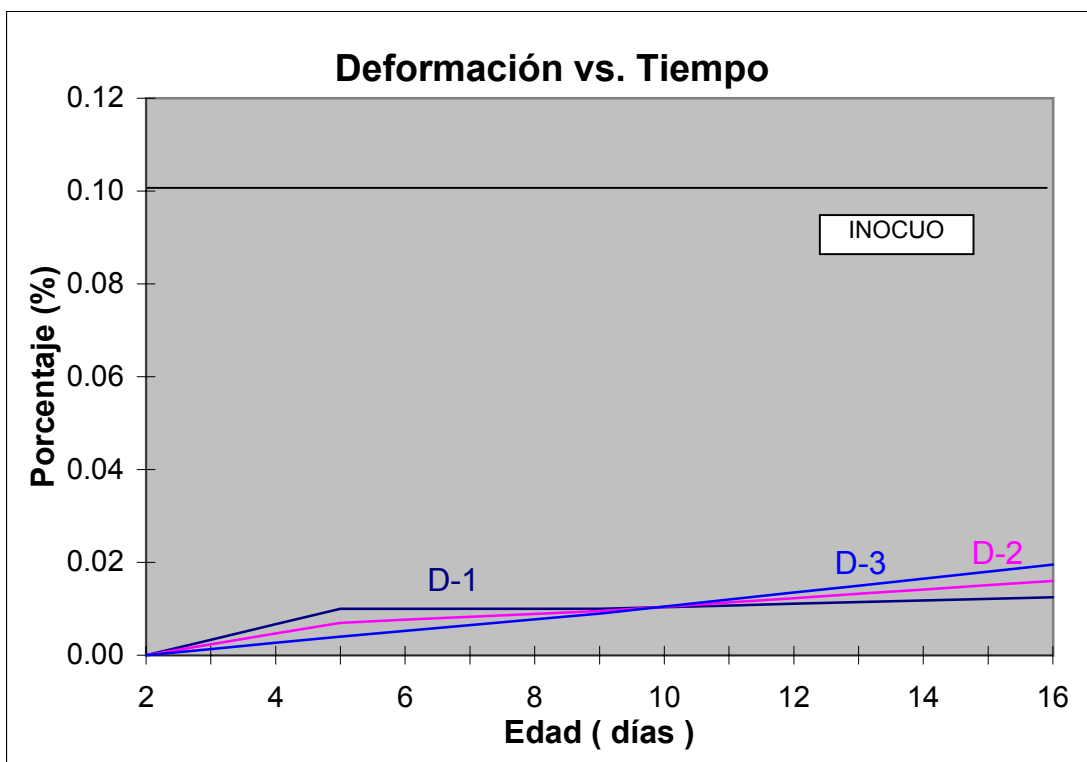
Fecha de inicio del Ensayo 97-11-12  
Fecha de culminación del Ensayo 97-11-28

**AGREGADO**  
Tipo: Piedra Triturada

Fuente: Galápagos  
Geología: Volcánica

**CEMENTO**  
Tipo: INEN IE (Rocafuerte)  
Fuente: La Cemento Nacional  
Expansión en autoclave: 0.0003%  
Alcalis Totales: 1.13%

Muestra #	Lecturas relativas (pulg)				Deformación (%)			
	Li	Lx			2 días	5 días	9 días	16 días
	2 días	5 días	9 días	16 días				
D-1	0.20000	0.20100	0.20100	0.20125	0.0	0.010	0.010	0.013
D-2	0.19230	0.19300	0.19325	0.19390	0.0	0.007	0.010	0.016
D-3	0.18460	0.18500	0.18550	0.18655	0.0	0.004	0.009	0.020
					Promedio	0.007	0.010	0.016



RESULTADO N° 6

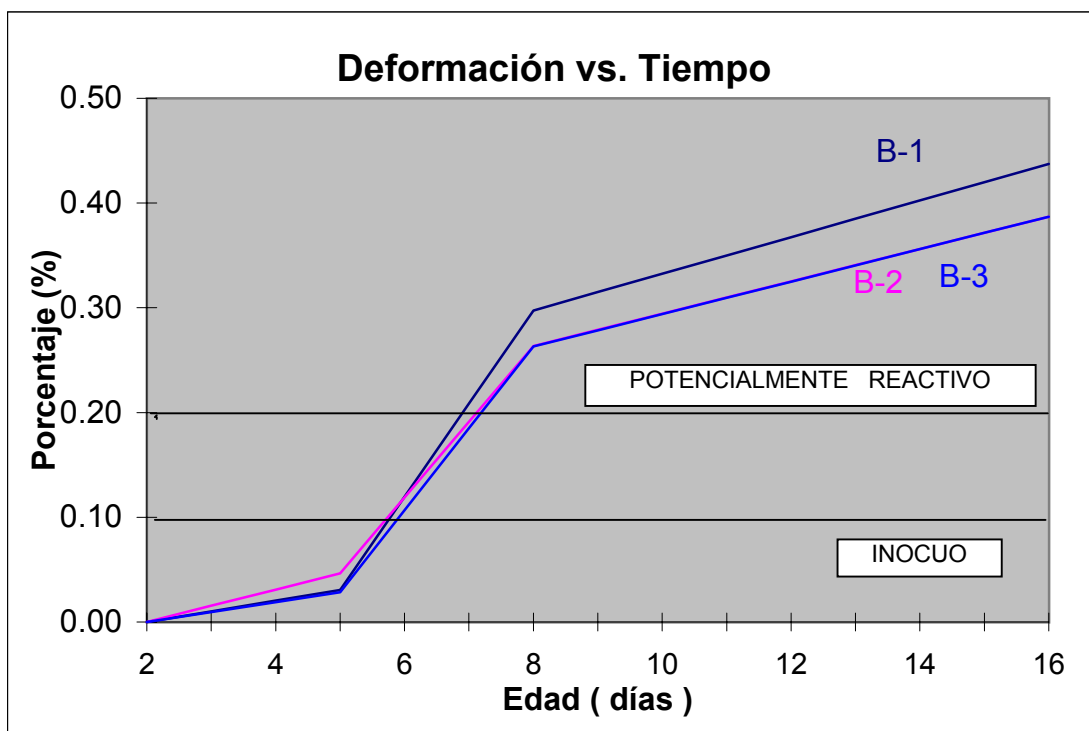
**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

Fecha de inicio del Ensayo 97-12-17  
Fecha de culminación del Ensayo 98-01-02

**AGREGADO**  
**Tipo:** Ripio Triturado  
**Fuente:** Cantera Hanna  
vía Pascuales  
**Geología:**

**CEMENTO**  
**Tipo:** INEN IE (Rocafuerte)  
**Fuente:** La Cemento Nacional  
**Expansión en autoclave:** 0.0003%  
**Alcalis Totales:** 1.10%

Muestra #	Lecturas relativas (pulgs)				Deformación (%)			
	Li 2 días	Lx			2 días	5 días	8 días	16 días
		5 días	8 días	16 días				
B-1	0.15525	0.15830	0.18500	0.19900	0.0	0.031	0.298	0.438
B-2	0.17735	0.18200	0.20370	0.21605	0.0	0.046	0.264	0.387
B-3	0.16390	0.16675	0.19020	0.20260	0.0	0.029	0.263	0.387
					Promedio	0.035	0.275	0.404



RESULTADO N° 7

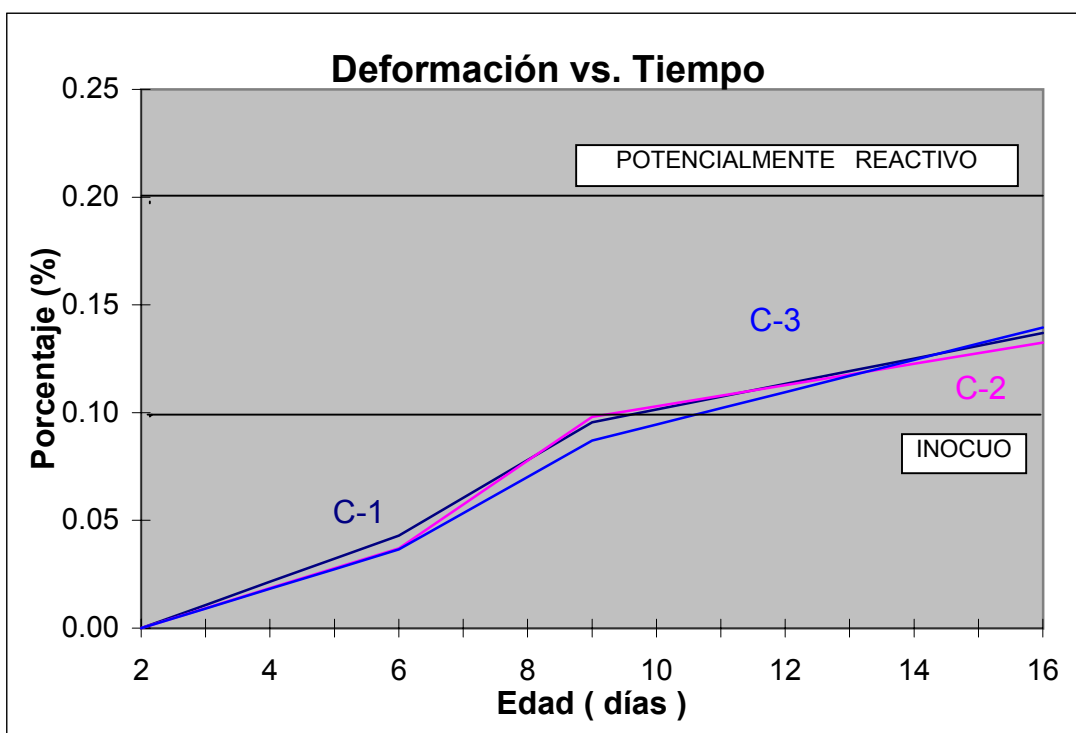
**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

Fecha de inicio del Ensayo 98-01-06  
Fecha de culminación del Ensayo 98-01-22

**AGREGADO**  
**Tipo:** Ripio minado  
**Fuente:** Cantera FUCU SUCU  
San Antonio, Quito  
**Geología:**

**CEMENTO**  
**Tipo:** INEN IE (Rocafuerte)  
**Fuente:** La Cemento Nacional  
**Expansión en autoclave:** 0.0003%  
**Alcalis Totales:** 1.10%

Muestra #	Lecturas relativas (pulgs)				Deformación (%)			
	Li 2 días	Lx			2 días	6 días	9 días	16 días
		6 días	9 días	16 días				
C-1	0.16470	0.16900	0.17425	0.17840	0.0	0.043	0.095	0.137
C-2	0.16120	0.16490	0.17100	0.17445	0.0	0.037	0.098	0.133
C-3	0.17280	0.17645	0.18150	0.18675	0.0	0.036	0.087	0.140
					Promedio	0.039	0.093	0.136



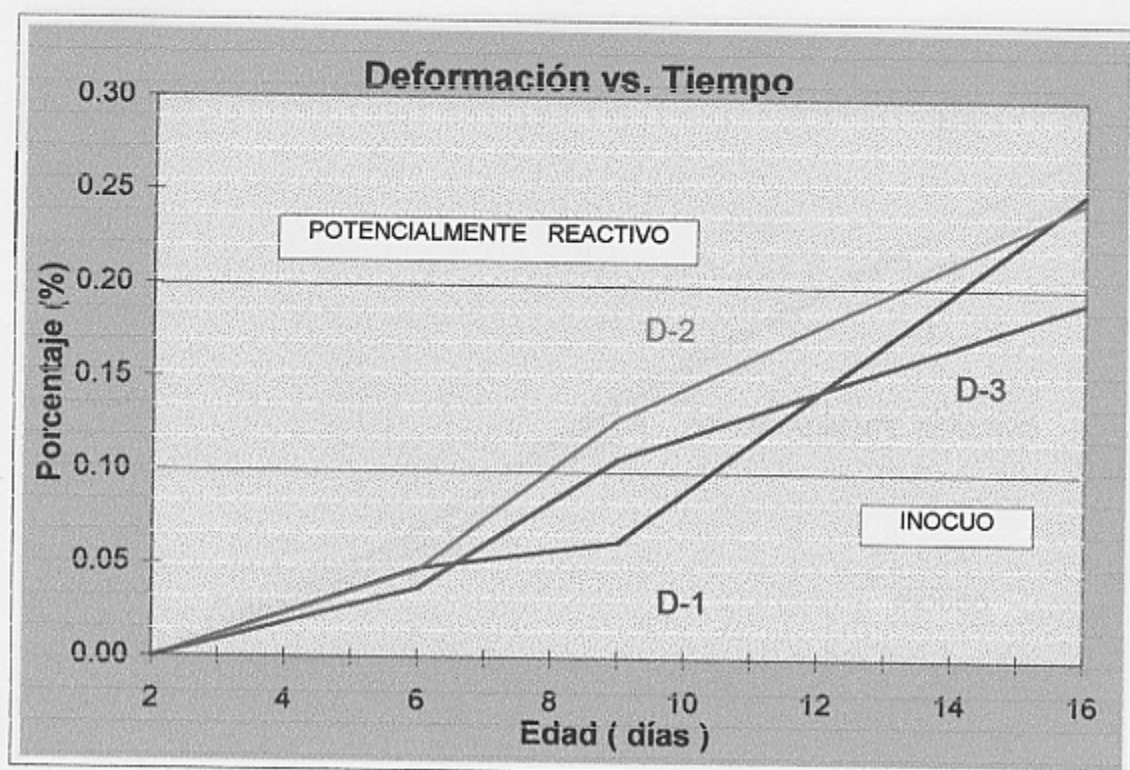
**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

Fecha de inicio del Ensayo            98-01-06  
Fecha de culminación del Ensayo    98-01-22

**AGREGADO**  
**Tipo:** Ripio minado  
**Fuente:** Cantera CASPIGASI  
San Antonio, Quito  
**Geología:**

**CEMENTO**  
**Tipo:** INEN IE (Rocafuerte)  
**Fuente:** La Cemento Nacional  
**Expansión en autoclave:** 0.0003%  
**Alcalis Totales:** 1.10%

Muestra #	Lecturas relativas (pulgs)				Deformación (%)			
	Li 2 días	Lx			2 días	6 días	9 días	16 días
		6 días	9 días	16 días				
D-1	0.15695	0.16175	0.16320	0.18200	0.0	0.048	0.063	0.251
D-2	0.18445	0.18915	0.19730	0.20905	0.0	0.047	0.129	0.246
D-3	0.17025	0.17400	0.18095	0.18950	0.0	0.037	0.107	0.193
					Promedio	0.044	0.099	0.230



RESULTADO N° 9

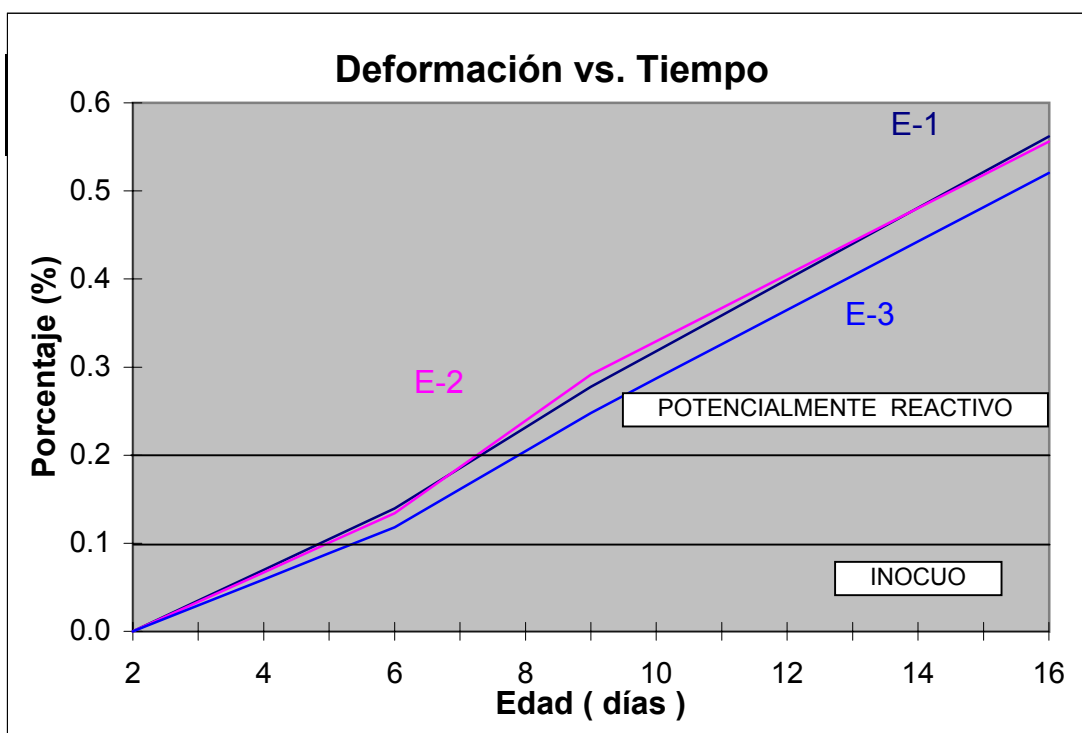
**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

Fecha de inicio del Ensayo 98-01-06  
Fecha de culminación del Ensayo 98-01-22

**AGREGADO**  
**Tipo:** Agregado grueso  
**Fuente:** Cantera MZ-3  
INABRONCO  
**Geología:**

**CEMENTO**  
**Tipo:** INEN IE (Rocafuerte)  
**Fuente:** La Cemento Nacional  
**Expansión en autoclave:** 0.0003%  
**Alcalis Totales:** 1.10%

Muestra #	Lecturas relativas (pulgs)				Deformación (%)			
	Li 2 días	Lx			2 días	6 días	9 días	16 días
		6 días	9 días	16 días				
E-1	0.15955	0.17350	0.18730	0.21575	0.0	0.140	0.278	0.562
E-2	0.17850	0.19190	0.20765	0.23410	0.0	0.134	0.292	0.556
E-3	0.16820	0.18000	0.19300	0.22025	0.0	0.118	0.248	0.521
					Promedio	0.131	0.272	0.546





## RESULTADO N° 10

**POTENCIAL DE REACTIVIDAD ALCALINA DEL AGREGADO  
METODO ACELERADO DE LA BARRA DE MORTERO  
ASTM 1260-94**

Fecha de inicio del Ensayo 98-01-06

Fecha de culminación del Ensayo 98-01-22

**AGREGADO**

Tipo: Agregado Grueso

Fuente: Cantera ZP-A

LA MICA

Geología:

**CEMENTO**

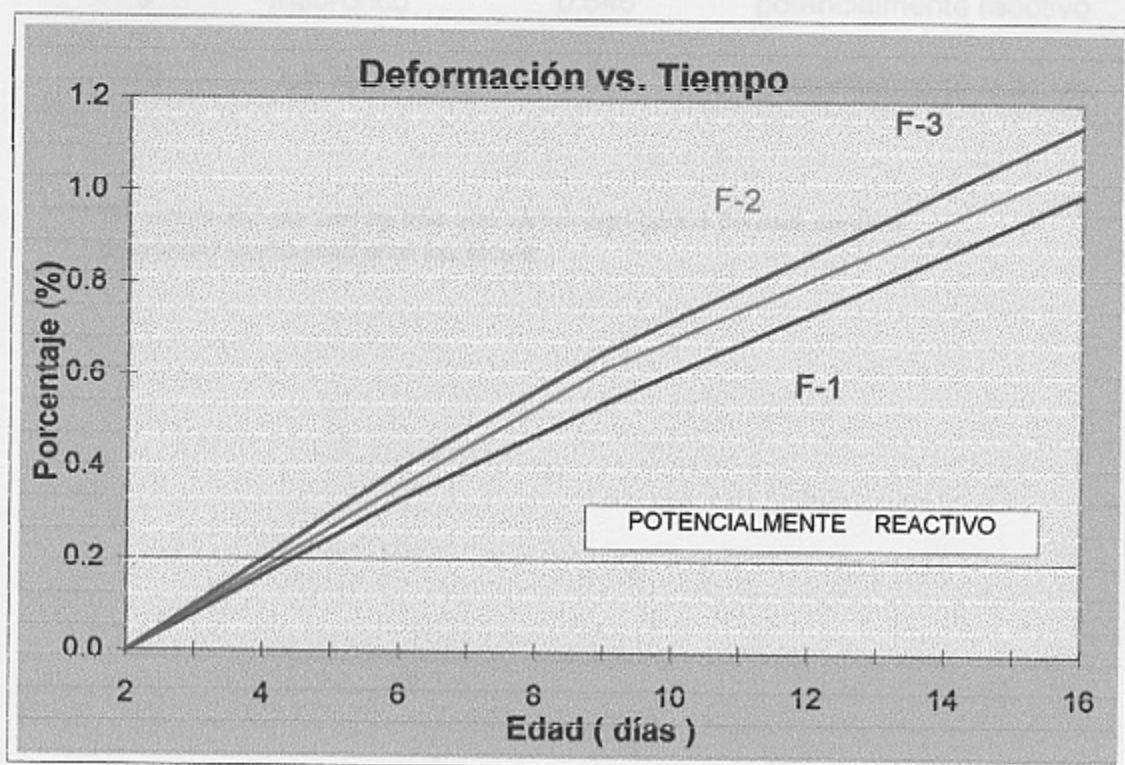
Tipo: INEN IE (Rocafuerte)

Fuente: La Cemento Nacional

Expansión en autoclave: 0.0003%

Alcalis Totales: 1.10%

Muestra #	Lecturas relativas (pulg)				Deformación (%)			
	Li 2 días	Lx			2 días	6 días	9 días	16 días
		6 días	9 días	16 días				
F-1	0.16920	0.20215	0.22365	0.26950	0.0	0.330	0.545	1.003
F-2	0.15185	0.18780	0.21375	0.25910	0.0	0.360	0.619	1.073
F-3	0.17630	0.21600	0.24185	0.29150	0.0	0.397	0.656	1.152
					Promedio	0.362	0.606	1.076



## RESULTADOS OBTENIDOS DE MUESTRAS ANALIZADAS

Ensayo	Muestra	Lectura prom. final	Clasificado como:
1	Lutita silícea	0.059	inócuo
2	Huayco	0.024	inócuo
3	Mavisa	0.067	inócuo
4	Chivería	0.221	potencialmente reactivo
5	Hanna	0.396	potencialmente reactivo
6	Galápagos	0.043	inócuo
7	Fucu Sucu	0.136	transición**
8	Caspigasi	0.230	potencialmente reactivo
9	Inabronco	0.546	potencialmente reactivo
10	La Mica	1.076	potencialmente reactivo

\*\* Se comprobó por petrografía que varios agregados de esta cantera presentan reactividad ante los álcalis.

RESULTADO N° 9

11	12	13	14	15	16
0.35879	0.39943	0.44007	0.48071	0.52136	0.562
0.36707	0.40486	0.44264	0.48043	0.51821	0.556
0.32586	0.36479	0.40371	0.44264	0.48157	0.5205

RESULTADO N° 5

11	12	13	14	15	16
0.0107	0.0111	0.0114	0.0118	0.0121	0.0125
0.0114	0.0123	0.0132	0.0141	0.0151	0.0160
0.012	0.0135	0.015	0.0165	0.018	0.0195

RESULTADO N° 4

11	12	13	14	15	16
0.159625	0.1715	0.183375	0.19525	0.207125	0.219
0.1714375	0.18375	0.1960625	0.208375	0.2206875	0.233
0.1611875	0.17125	0.1813125	0.191375	0.2014375	0.2115

## **CAPITULO VI**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al hacer un análisis global sobre la investigación de laboratorio realizado en las instalaciones del Centro Técnico del Hormigón de Guayaquil a las diferentes muestras tomadas de varios lugares del país, se ha podido concluir lo siguiente:

- 1.- El método de ensayo de la barra de mortero ASTM C-1260, por ser un método nuevo y rápido, no deja la duda de ser confiable, más bien, nos demuestra que con los resultados obtenidos, producto de las lecturas a los 16 días y el estudio petrográfico complementario, reafirma la validez del ensayo para determinar una posible reacción álcali - agregado o futura deterioración del concreto.
- 2.- Para hacer la evaluación de los agregados, se ha tomado los límites de la norma para su respectiva identificación. Si las barras experimentan expansiones menor al 0.1% en comparación a la lectura inicial, se considera como agregados inócuos ( no hacen daño ), si sobrepasan el 0.2% serán potencialmente reactivos, y si existiera algún agregado que se encuentre entre 0.1% y 0.2% será considerado en transición, donde a criterio del laboratorista, se realizará un estudio complementario ya sea a lectura hasta los 28 días o un estudio petrográfico que determine si la muestra es o no reactiva con el tiempo.
- 3.- La elaboración de láminas delgadas ( estudio petrográfico ), confirman si en su composición interna existe la presencia del gel. Este gel es el producto de la

reacción y será bien identificado por una coloración fosforescente bajo la luz ultravioleta. Si las lecturas obtenidas ubican a un agregado en la zona de transición, puede darse el caso que el hormigón sufra el deterioro posteriormente con el pasar de los años, es así que se recomienda petrografía de las barras como complemento al estudio.

- 4.- Según las expansiones producidas en cada una de las barras, se determinó que los agregados de Equidor ( lutita silificada ), Huayco ( piedra caliza ), Mavisa ( arenisca silificada ) y la de Galápagos son inócuos. Los que se presentaron como potencialmente reactivos fueron los de Chivería ( diabasa ), Hanna ( tonalita ), Caspigasí, Inabronco y la de Fucu Sucu que se presenta en transición.
- 5.- Hay que recalcar que las expansiones producidas por las muestras de la Mica e Inabronco, sobrepasan el límite superior para agregados reactivos en forma considerable y por tanto se deberían tomar medidas preventivas antes de hacer uso de los mismo haciendo estudios adicionales.



## **MEDIDAS PREVENTIVAS**

De alguna manera para que un agregado tenga un campo satisfactorio para la ejecución, debería pasar por lo menos de unos de los ensayos tales como el método acelerado de la barra de mortero o el ensayo del prisma de concreto para poder ser usado en la construcción.

Hay veces que algún agregado exceda los límites de expansión en ambos ensayos y por tanto, se deberá tomar medidas que precautelen la seguridad del hormigón.

De los agregados locales sujetos a este estudio se recomienda:

Ⓜ Hacer uso de los agregados que salieron como inócuos , ya que las pruebas así lo demuestran que no son reactivos frente al álcalis del cemento .

Ⓜ En proyecto de gran magnitud se recomienda el lavado de los agregados para evitar que el árido contenga impurezas y gran cantidad de finos, que incidan en la adherencia y resistencia del hormigón.

En el uso del cemento:

Ⓜ Minimizar el riesgo de expansión limitando el uso de álcalis en el cemento a 3 Kg/m<sup>3</sup> en materiales reactivos.

Ejemplo:

si un cemento contiene 0.9% de álcalis totales, entonces la cantidad de cemento será:

cemento en el concreto  $= (\text{Na}_2\text{O equiv. concreto} * 100) / \text{Na}_2\text{O equiv. cemento}$

$$= ( 3 \text{ Kg/m}^3 * 100 ) / 0.9\%$$

$$= 333 \text{ Kg/m}^3$$

Es decir, dependiendo de su composición química del cemento, podrá usarse la cantidad de cemento en Kg/m<sup>3</sup> para prevenir una posible reacción.

Ⓜ Evitar el uso de agua en la mezcla con un alto contenido de álcalis.

## A P E N D I C E S

## APENDICE A

### ANALISIS QUIMICOS DEL GEL

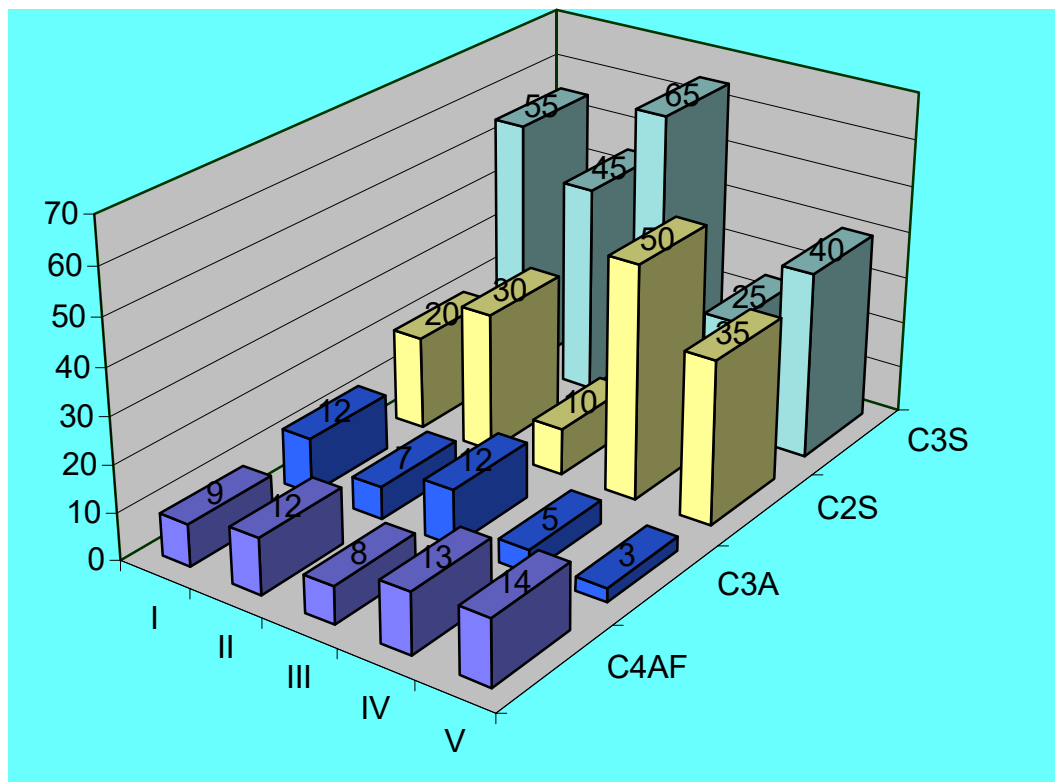
Na2O (%)	K2O (%)	SiO2 (%)	CaO (%)	MgO (%)	diferencia de 100%	Referencias del año
12.9	0	53.9	2.9	0.6	29.7	1942
12.9	0	53.4	2.6	0.8	30.3	
14.9	5.2	61.7	0.6	0	17.6	1961
13.4	5.1	65.5	0.5	0.2	15.3	
12.4	4.9	69.9	0.3	0.5	12	
17.9	8.2	72.7	1.1	0.1	0	
9.4	4.1	72.8	1.3	0.2	12.2	
14.6	6.2	61.9	0	0.1	17.2	
16.2	5.7	56.8	0	0	21.3	
8.2	4.1	56.1	17.4	0.2	14	
8.3	5	28.5	22.4	0.2	35.6	
1.2	0.4	51.4	29.9	10	7.1	1975
7.4	0.7	53	22.1	10	6.8	
1.5	13.9	38.9	27.3	0	18.4	1980
0.4	4.7	51.1	21.5	0	22.3	1983
0	0.6	27.9	35.2	0	36.3	
1	6.9	61.5	9.2	0	21.4	1983
1	6.2	63.8	8.2	0	20.8	
1.8	5.5	49.9	12.8	0	30	
1	5.2	50.4	12	0	31.4	
1.4	9	62.9	12.5	0	14.2	
0.8	7.4	53.2	10	0	28.6	
1.2	4.1	66.5	6.5	0	21.7	1983
3.7	12.9	43.3	21.8	0.8	17.5	1986
3.9	11.7	49.4	15.9	0.5	18.6	

Composición química de algunos análisis químicos de gel álcali - sílice (peso %) .  
Ref ( 18 )

## APENDICE B

### COMPOSICION MINERALOGICA DEL CEMENTO

#### TIPOS DE CEMENTOS



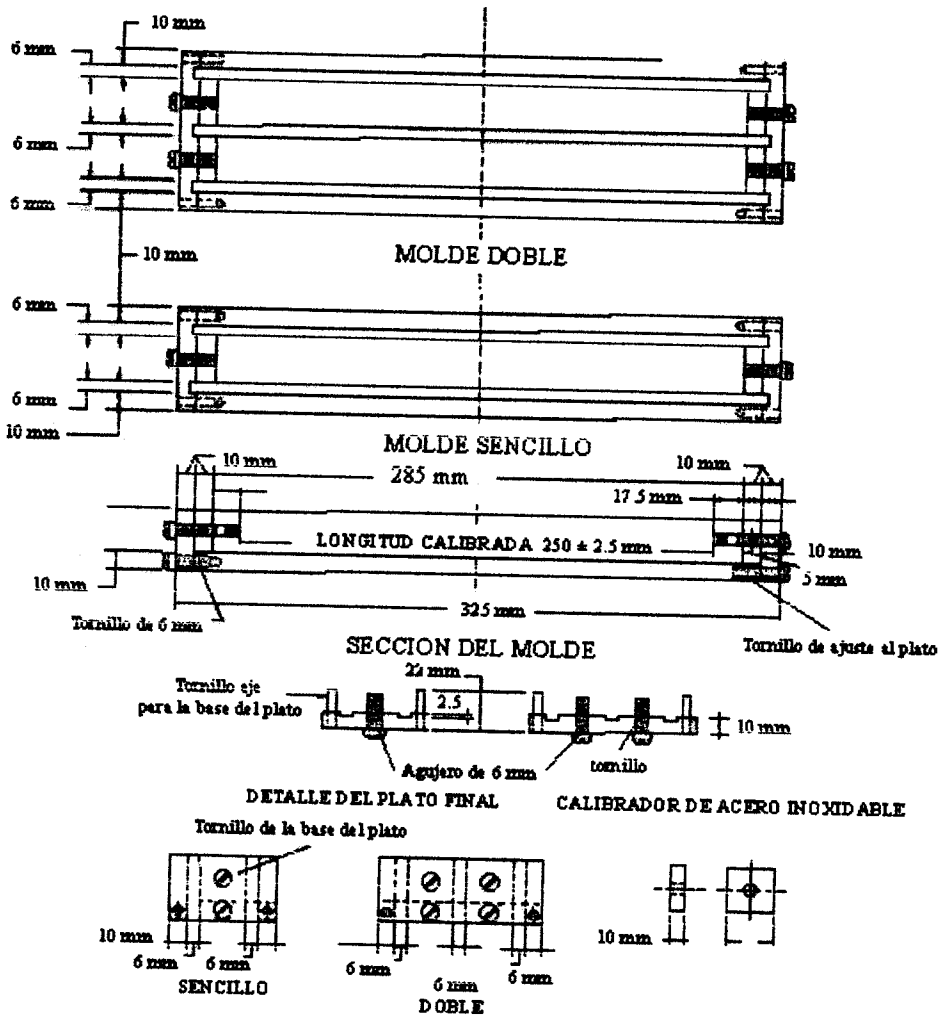
## APENDICE C

### VALORES TIPICOS DE COMPOSICION DE LOS COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

Cemento	Valor	Composición de compuestos, porcentajes							Pérdida por ignición	Número de muestras
		C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>	CaO libre	MgO		
<b>Tipo I</b>	Máx	67	31	14	12	3.4	1.5	3.8	2.3	21
	Mín	42	8	5	6	2.6	0	0.7	0.6	
	Medio	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2	
<b>Tipo II</b>	Máx	55	39	8	16	3.4	1.8	4.4	2	28
	Mín	37	19	4	6	2.1	0.1	1.5	0.5	
	Medio	46	29	6	12	2.8	0.6	3	1	
<b>Tipo III</b>	Máx	70	38	17	10	4.6	4.2	4.8	2.7	5
	Mín	34	0	7	6	2.2	0.1	1	1.1	
	Medio	56	15	12	8	3.9	1.3	2.6	1.9	
<b>Tipo IV</b>	Máx	44	57	7	18	3.5	0.9	4.1	1.9	16
	Mín	21	34	3	6	2.6	0	1	0.6	
	Medio	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	1	
<b>Tipo V</b>	Máx	54	49	5	15	3.9	0.6	2.3	1.2	22
	Mín	35	24	1	6	2.4	0.1	0.7	0.8	
	Medio	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	1	

**A PENDICE D**

**MEDIDAS DEL MOLDE EN EL SISTEMA INTERNACIONAL**



Vistas simple y doble de un molde para la elaboración de barras en el sistema SI

## APENDICE E

### PASOS PARA LA PREPARACION DE LAS BARRAS

#### INEN 488-195

	tiempo parcial	tiempo total
Pesar 206.8 gr de agua		
Pesar 440 gr de cemento (pasado por tamiz N° 20)		
Mezclar agua y cemento a velocidad lenta (140RPM)	30''	30''
Colocar el agregado (990 gr) a velocidad lenta	30''	1'
Parar mezclador y cambiar la velocidad a 285 RPM	30''	1'30''
Parar mezcladora		
Arrastrar mezcla pegada en 15''	15''	1'45''
Tapar recipiente 75'' con toalla húmeda	75''	3'
Sacar toalla y mezclar 60'' a 285 RPM	60''	4'
Mortero listo para ser colocado en los moldes de 25x25x285mm		



## APENDICE F

### EVALUACION DE METODOS DE ENSAYOS RAPIDOS EN BARRAS DE MORTERO ASTM C 227

METODO	SUMERGIDO EN	LIMITE DE EXPANSION	TIEMPO	OBSERVACIONES
ASTM C227 Ensayo barra mortero	bolsas de polietileno selladas colocadas al calor con 10 ml de agua	0.05% 0.10% mas de 0.1%	3 meses 6 meses 18 - 24 meses	para agregados de reacción lenta
Método NBRI	solución de NaOH concentración 1 molar a 80°C	<0.1% inócuo 0.1 - 0.25% >0.25% expansivo	16 días	tratado en esta tesis
Método Duncan	100% de humedad relativa y 64°C	0.05%	16 semanas	
Método salado Danés	cloruro de sodio a 50°C	0.10% por encima de expansión de control	8 semanas	
Ensayo rápido Japonés	adiciona Na <sub>2</sub> O equiv= 3.0% a las 24 horas son saturadas al vapor a 125°C por 4 horas		28 horas	
Ensayo de autoclave chino	curado inicial a 125°C en autoclave a 10% de solución KOH a 150°C	ninguna muestra se expandió más del 0.1%	6 horas	Ensayo fue abandonado por los resultados obtenidos

Ensayo rápidos utilizados por los canadienses para determinar la reactividad de los agregados

**FOTOGRAFIAS**



**FOTO I** Mezcladora mecánica para el proceso de la elaboración de las barras.

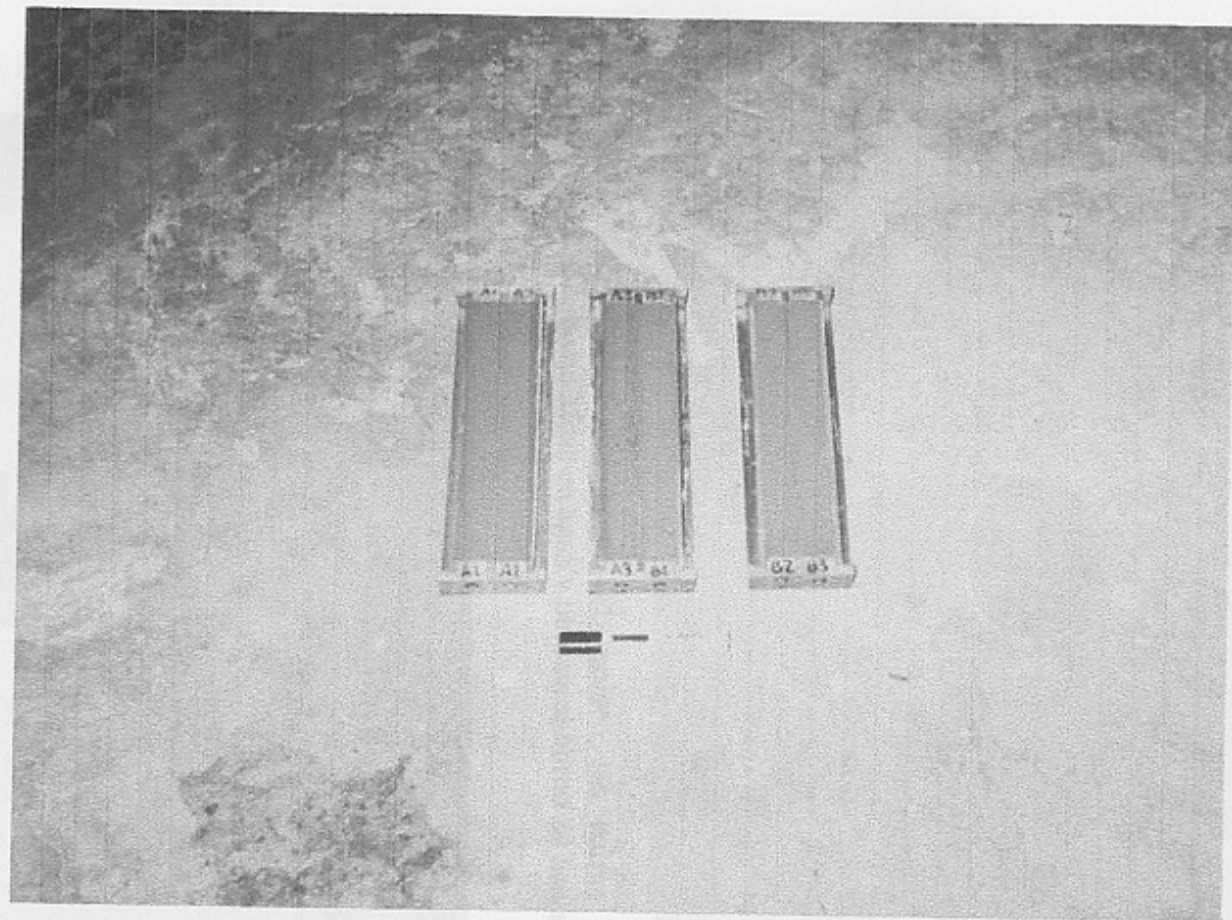


**FOTO II** Colocación de la primera capa en la elaboración de las barras.



**FOTO III** Enrasado de los moldes una vez colocada la segunda capa para una muestra analizada.

FOTO V.1 Colocadas las barras, éstas son selladas con silicona para evitar que el agua evapore el líquido en el interior de los cilindros.



**FOTO IV** Muestras colocadas en la cámara húmeda por un periodo de 24 horas



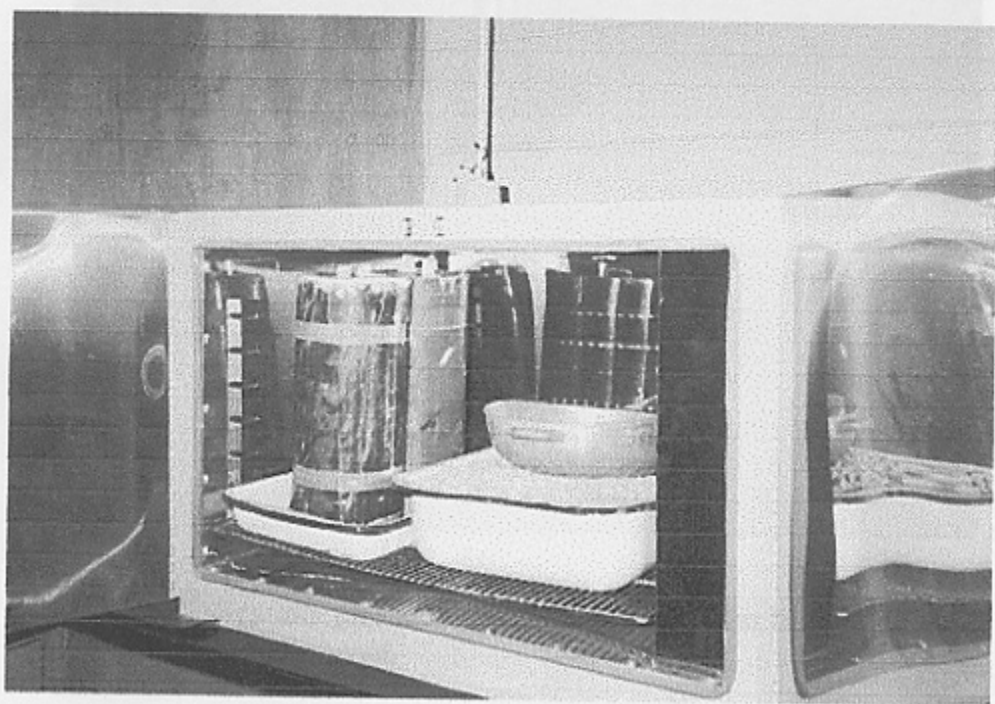
**FOTO V** Después de 24 horas del moldeo, las barras son desencofradas, sumergidas en agua y puestas al horno 24 horas más.



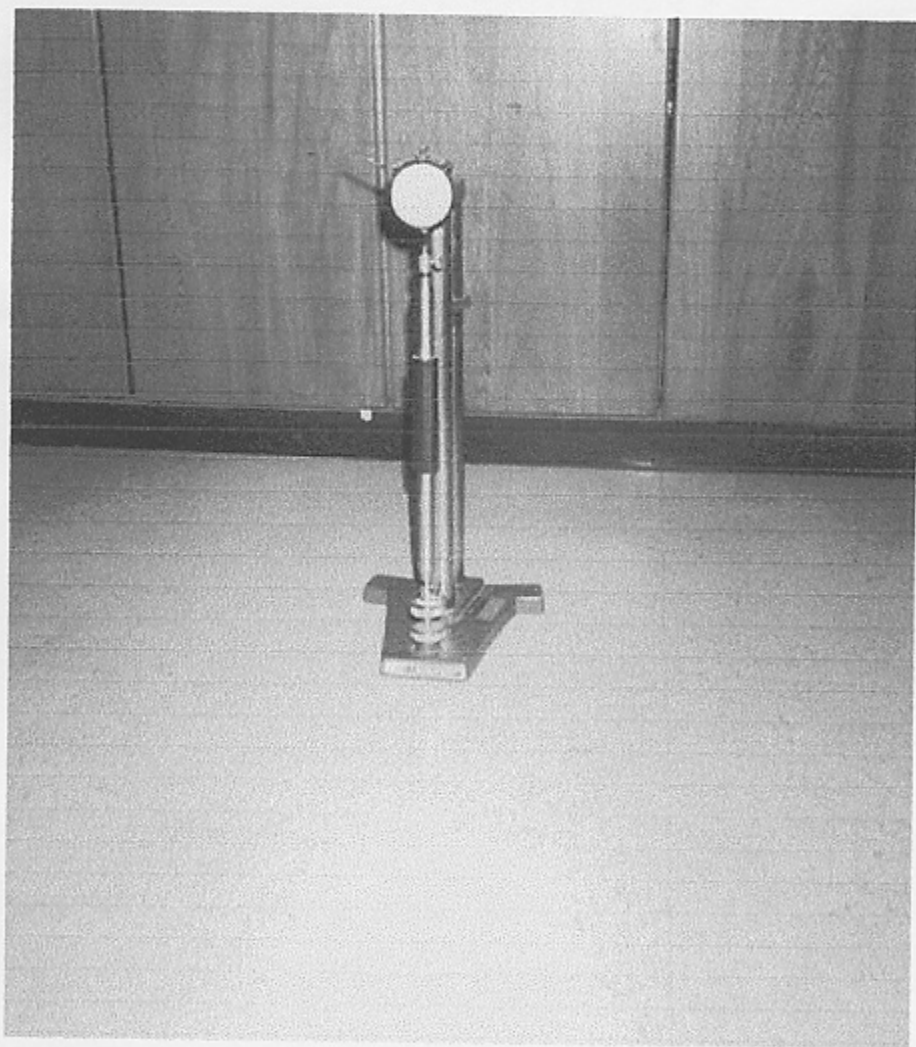
**FOTO VI** Colocadas las barras, éstas son selladas con silicón para evitar que el calor evapore el líquido en el interior de los cilindros.



**FOTO VII** Sellado de los dos cilindros con la cantidad de 12 barras listas para el ensayo.



**FOTO VIII** Cilindros colocados al horno a  $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  para acelerar el proceso de reacción de las barras.



**FOTO IX** Aparato para medir la deformación de las barras calibradas con el patrón previamente.



**BIBLIOGRAFIA**

1. ASTM, Cement. 1997, volumen 04-01, pag 647-650
2. ASTM, Concrete and aggregate, 1997, volumen 04-02 pag. 406; 647
3. ASTM, Agua, 1993, volumen 11-01, pag. 45
4. CENTRO TECNICO DEL HORMIGON, Agregados para el hormigón, 1995, volumen 8 pag 10-25
5. CENTRO TECNICO DEL HORMIGON , Cemento Portland, 1995, volumen 7 pag 4 -8
6. DEWAR J.D. AND ANDERSON R., Manual of Ready - Mixed concrete, Blackie, 1992 , pag 35 - 38
7. DHIR AND JONES, Concrete 2000, E § FN Spon, 1993, volumen 2, pag 1034 - 1041
8. DODSON VANCE, Concrete admixture, VNR, 1990, pag 9-13
9. EGLINTON M.S., Concrete and its chemical behaviour, Thomas Telford, 1987, 31-37; 46
10. GARCIA - PELAYO R., Diccionario Larousse español - inglés, Ediciones Larousse, 1976
11. HOBBS, D.W., Alkali - Silica reaction in concrete, Thomas Telford, 1988 pag 1-40; 134-171
12. HUBERT WOODS, Durability of concrete construction, A.C.I. 1984, pag 57-81
13. KOSMATKA S. y PANARESE W., Diseño y control de mezcla de concreto, Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 1992, pag 13-26

14. KUMAR MEHTA, Concrete technology past, present and future, Victoria  
Wieczorek, 1994, 105-124
15. KUMAR MEHTA y MONTEIRO P, Concrete structure properties and materials,  
Prentice Hall, 1993, pag 154 - 159
16. MALHOTRA V.M., Advances in concrete technology, Aci, 1995, pag 229-235
17. MALIER, High performance concrete, E & FN Spon, 1992, pag 225-232
18. MINDESS S. AND YOUNG J., Concrete, Prentice-Hall, 1981, pag 140-148
19. NEVILLE, Properties of concrete, Longman Scientific & Technical, 1981,  
pag 158-163
20. NEVILLE A.M., Tecnología del concreto, Instituto Mexicano del cemento y del  
concreto A.C., 1983, volumen 1 pag 23-28; 93-96
21. RAMACHANDRAN, Concrete admixture handbook, Noyes publications, 1984,  
39-42
22. SWAMY R.N., The Alkali - Silica reaction in concrete, Blackie, 1992, pag 1-17;  
30- 68
23. VELAZQUEZ M., Spanish - English Dictionary, New century Publishers, 1985
24. WEST, G., Alkali - Aggregate reaction in concrete roads and bridges, Thomas  
Telford, 1996, pag 1-48; 107-135