

ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA
MEXICO

FABRICACION DE CEMENTO CON ADICION DE CALIZA,
COMO UNA ALTERNATIVA DE AHORRO DE ENERGIA Y
COMO SUSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I, EN
ALGUNAS DE SUS APLICACIONES.

TESIS

QUE PRESENTA :

MANUEL ANDRES PUELLO BAEZ.

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA
MEXICO, D.F. 1989.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Dr. Liberto de Pablo.	Presidente.
Dr. Víctor Castaño.	Primer vocal.
Dra. Cira Piña.	Secretaria.
M en C. Patricia Quintana.	Suplente.
M en C. María de Lourdes Chaves G.	Suplente.

Este trabajo fue desarrollado, en el laboratorio Central de Control de Calidad, de Cementos Tolteca S.A. de C.V. Avenida Tolteca No. 203 Col. San Pedro de los Pinos. México, D.F.

Sustentante: Manuel ^{M. de la Cruz} ~~Andrés~~ Puella Báez.
Directora de Tesis: ~~Dra. ^{G. Piña} ~~Patricia~~ Quintana M.~~
Asesora Interna: M en C. ^{M. de Lourdes Chaves G.} ~~María de Lourdes~~ Chaves G.

A MIS ASESORES

DRA. GRACIELA PACHECO M.
M. EN C. MARIA DE LOURDES CHAVES G.
ING. CLAUDIO EBERHARDT.

A USTEDES, DEDICO ESTE
TRABAJO DE INVESTIGACION

GRACIAS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
SANTO DOMINGO**

EN MI CONDICION DE PROFESOR
DE QUIMICA INORGANICA, QUIERO
RECONOCER EL APOYO RECIBIDO, DURANTE
LA REALIZACION DE ESTA MAESTRIA.

AGRADECIMIENTO

A

**CEMENTOS TOLTECA S.A. DE C.V. LABORATORIO DE
CONTROL DE CALIDAD. SAN PEDRO DE LOS PINOS.
MEXICO, D.F.**

**GRACIAS AL GRAN APOYO QUE RECIBI DE CEMENTOS
TOLTECA, S.A. DE C.V. HOY ES UNA REALIDAD
ESTE TRABAJO DE MAESTRIA.**

**AGRADEZCO A SUS FUNCIONARIOS Y TECNICOS POR
SU GRAN COLABORACION DESINTERESADA.**

GRACIAS

INDICE DE CONTENIDO

Resumen	.....	1
Summary	.....	3
Introducción	.....	5

Capitulo I

Cemento Generalidades

I.- Cemento generalidades	.....	7
II.- Fabricación de cementos Portland.....		8
A.- Método seco	.....	10
B.- Molienda	.....	10
C.- Calcinación	.....	12
III.- Tipos de cementos Portland	.....	14
IV.- Teoría de hidratación del cemento	.....	18
A.- Reacciones de hidratación	.....	19
B.- Fraguado del cemento	.....	23
I.- Falso fraguado	.....	23
C.- Resistencia a la compresión	.....	25
D.- Finura	.....	28

Capitulo II.

Adiciones al cemento

I.- Antecedentes de las adiciones	30
A.- Importancia de las adiciones	31
1.- Adiciones activas	33
II.- Adiciones de calizas	34
A.- Caliza	41
1.- Impurezas	42
2.- Calcita	43
III.- Molienda de los cementos con adiciones	43
A.- Molienda conjunta y separada	46

Capitulo III

Parte experimental

I.- Parte experimental	48
A.- Esquema de trabajo	51
B.- Técnicas empleadas	52
II.- Preparación de materias primas	53
A.- Densidad	56
B.- Determinación del blaine	56
III.- Análisis Químico - Caliza y Yeso	61
IV.- Preparación de diferentes cemento	65
A.- Adición de 10% de caliza de Blaine constante	65
B.- Adición de 10% de caliza de Blaine variable	66
V.- Adición de diferentes porcentos de Caliza	75
A.- Molienda Conjunta	75
1.- Nuevas Moliendas	77

VI.- Pruebas Químicas - Cemento tipo I y	
Cemento con 10% de Caliza	88
VII.- Pruebas Físicas	92
VIII.- Difracción de Rayos - X	98
A.- Caliza	98
B.- Cemento tipo I. Anhidro	99
C.- Cemento tipo I. 3 días de Hidratación	99
D.- Cemento + 10% de Caliza. 3 Días de Hidratación	99
E.- Cemento tipo I. 28 días de Hidratación	99
F.- Cemento + 10% de Caliza . 28 días de Hidratación	99
IX.- Microscopía Optica.	108
A.- Preparación de Muestras.	108
1.- Clinker	108
2.- Caliza	108
X.- Microscopía Electrónica de Barrido	113

Capitulo IV

Discusión de Resultados

I.- Pruebas Químicas y Físicas	121
II.- Difracción de Rayos-X	124
III.- Microscopía Optica y Electrónica de Barrido	128
CONCLUSIONES	131
BIBLIOGRAFIA	134
APENDICE	141

R E S U M E N

El objetivo de esta investigación, fue la de producir un cemento con adición de caliza. La fabricación de este cemento se fundamenta en la búsqueda de nuevas alternativas en la industria cementera, con la finalidad de ahorrar energía eléctrica y combustibles, sin que resulte afectada su resistencia mecánica.

Se realizaron varias moliendas a un cemento Portland tipo I y de caliza. Se seleccionó un porcentaje fijo de caliza y se le hicieron varias adiciones; estas se realizaron manteniendo constante el blaine de la caliza, en un caso, y en otro se mantuvo constante el del cemento.

Se determinaron las resistencias mecánicas, estos valores fueron comparados con los de una muestra patrón, resultando la muestra de caliza de blaine igual a 4955 cm^2/gr , la seleccionada; y el cemento de 3210 cm^2/gr , de blaine.

La muestra de caliza seleccionada de blaine óptimo fue adicionada al cemento tipo I, en diferentes porcentajes desde 0 hasta 30%. Nuevamente se prepararon morteros para cada muestra comparándose con los valores obtenidos de resistencias a 3, 7 y 28 días, con los de la muestra patrón.

Se comparan las adiciones de calizas mediante molienda separada y conjunta, en muestras con 10% de caliza de blaines similares. Obteniéndose valores mayores de resistencias en muestra producida por molienda separada.

La muestra obtenida por molienda conjunta, se compara con la muestra patrón por medio de pruebas físicas y químicas y análisis de difracción de rayos-x, Microscopia Óptica y Electrónica.

El cemento + 10% de caliza, resultó más plástico y de mayor trabajabilidad que el tipo I, su pasta hidratada es más homogénea que la del cemento portland tipo I.

S U M M A R Y

The purpose of this research is to produce a limestone - enriched cement. to find new alternatives for the cement industry, which seeks to save electric energy and fuel, without altering its mechanical resistance.

- Several grindings of type I cement Portland and limestone were made. A specific percentage of limestone was selected, and several additions were made, keeping the limestone's blaine constant; and the cement's blaine constant.

The mechanical resistances; were compared to those of a pattern sample. The blaine of the selected limestone sample was 4955 cm²/gr., and the blaine of the cement sample was 3210 cm²/gr.

The selected sample of optimum blaine limestone, was added to the type I cement, in different percentages ranging from 0 to 30%. New mortars were made for each sample, comparing the resistance grades, at 3, 7 and 28 days, with the grades obtained from the cement type I.

The different limestone additions were compared, in grindings both separate and joint in samples with a 10% of limestone of similar blaine. Higher resistance grades were obtained in the separate grinding.

The joint grinding sample was compared, against the pattern by chemical and physical test, the presence of calcita crystals was determined, in hydrated samples of pastes and mortars, by as well x-ray diffraction, optical and an electron microscope analysis.

The cement plus 10% of limestone was more plastic and easier to work with, than the type I . Its hydrated paste was more homogeneous than that of the Portlan cement type I.

I N T R O D U C C I O N

El objetivo fundamental de este trabajo de investigación se basa en la producción de un Cemento Portland tipo I, con adición de un porcentaje determinado de caliza, como una alternativa de ahorro de energía.

La fabricación de este cemento, con adición de caliza, debe poseer propiedades similares o superiores que los cementos portland, ya que se pretende sustituir a éstos últimos por un cemento con cierto porcentaje de caliza.

Este tipo de cemento con adición de caliza, no se fabrica en la República Mexicana, ni en los países de América Latina; por este motivo nos hemos interesado en la fabricación de este material cementante.

Por lo tanto, como ciudadano Dominicano es mi deber cooperar o coadyuvar a la búsqueda de soluciones a los problemas nacionales siendo la producción de cemento en los últimos años un grave problema, en la República Dominicana.

El déficit mensual de cemento en la República Dominicana, ha alcanzado en los últimos meses las 20,000 toneladas, por lo que se ha tenido que recurrir a importaciones de cemento y clinker.

Debido al actual déficit reportado por las autoridades Dominicanas es necesario buscar vías alternas, las cuales de una manera u otra puedan aumentar la producción de cemento y por ende abaratar el producto.

La Comunidad Económica Europea (CEE), recientemente, ha prestado especial atención al empleo de la caliza, en ciertas proporciones como material de adición, para los cementos Portland, con la finalidad de reducir el consumo de

energía. Estas adiciones, no sólo son consideradas para los cementos "puros", sino también para los cementos con adiciones de escorias y puzolanas.

Por consiguiente, se puede decir, que el ahorro de energético, exigido por la crisis del petróleo, en los años setenta, ha sido el detonante, que puso de relieve las posibilidades de los cementos Portland con adiciones.

En países como Francia y España, la autorización para usar algunas adiciones, han venido luego de una gran batalla. En lo que respecta al uso de caliza como material de adición, aún existen fuertes polémicas sobre sus ventajas o desventajas, las cuales no han sido establecidas, siendo éste otro de los objetivos de esta investigación.

Las adiciones de caliza serán hechas al clinker en diferentes proporciones, el cual poseerá un porcentaje fijo de yeso. Se comparan los cementos obtenidos por adición de caliza mediante molienda conjunta y separada serán comparados. La elección de la mezcla óptima será caracterizada química y físicamente, y por análisis instrumentales.

Por consiguiente, esta comparación servirá de base o fundamento para el establecimiento de las cualidades de este producto, y su futura normalización.

CAPITULO I

CEMENTO GENERALIDADES

CEMENTO- GENERALIDADES

En el sentido más amplio de la palabra, cemento indica cualquier clase de adhesivo. En el área de la construcción y de la Ingeniería civil, indica una sustancia que puede emplearse para unir arena y roca machacada u otro tipo de áridos, y formar una masa sólida. De esta manera, se originan materiales como el hormigón, los morteros y diferentes clases de productos, derivados del fibrocemento (1).

Entre los tipos de cementos más importantes se encuentra el cemento Portland. El cual es un material finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea sólo o mezclado con otros materiales tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida; por esta condición se dice que el cemento Portland es hidráulico.

El cemento Portland debe su nombre, al hecho de que su inventor el maestro de obra Inglés Joseph Aspdin, encontró en 1824 que el polvo producido al moler una mezcla calcinada de caliza y arcilla era semejante al endurecer (mezcla polvo + agua), a ciertas canteras de piedra de la isla de Portland, Inglaterra.

El fraguado y endurecimiento del cemento Portland es debido a reacciones químicas, que se producen entre el agua y los compuestos presentes en el cemento. El producto que se forma entre el agua y el cemento es una pasta, la cual es casi insoluble en el agua.

Los compuestos principales en el cemento son: Silicato tricálcico (Ca_3SiO_5), silicato dicálcico (Ca_2SiO_4), aluminato tricálcico ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$), y el ferroaluminato tetracálcico ($\text{Ca}_4\text{Fe}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}$). Estos compuestos constituyen el

90% en peso del cemento; mientras que el 10% restante está constituido por yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que se agrega al clinker durante la molienda, y otros elementos libres los cuales no alcanzan la calcinación, entre los que se encuentran la cal libre (CaO), la magnesia (MgO) y los álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$). Ver Cuadro No.1.

Por consiguiente, desde el punto de vista químico el cemento, está formado por silicatos de calcio, de aluminio y hierro. A estos compuestos se suele llamar compuestos potenciales, y son los que se forman en el proceso de clinkerización.

Se puede, con estas explicaciones dar una definición para el cemento Portland, y definiéndolo como el material obtenido de la pulverización de un clinker (minerales calcinados), que consiste esencialmente de silicatos hidráulicos de calcio, obtenidos por sinterización y fusión parcial de una predeterminada mezcla homogénea de materiales, conteniendo principalmente cal (CaO), Sílice (SiO_2), y una pequeña proporción de óxido de aluminio (Al_2O_3), y de óxido férrico (Fe_2O_3). La adición de un pequeño porcentaje de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) al clinker y una posterior molienda producen el producto conocido como cemento Portland "puro" o común.

FABRICACION DE CEMENTOS PORTLAND. Los materiales calcáreo y arcillosos son los empleados en la fabricación de cemento. El material más importante es la caliza, que ocurre en la naturaleza en las formas de creta, caliza sedimentaria y caliza metamórfica.

Entre los materiales arcillosos se emplean principalmente la pizarra, formada por minerales arcillosos que provienen de la separación de los componentes solubles

CUADRO No. 1 COMPONENTES PRINCIPALES
DEL CEMENTO - SUS FORMULAS
Y PESOS MOLECULARES

<u>COMPUESTOS</u>	<u>FORMULA</u>	<u>PESO MOLECULAR</u> (gr/mol)
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	228.33
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	172.25
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	270.18
Aluminio férrico tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	485.94
Silicato de calcio hidratado	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	134.19
Aluminato tetracálcico hidratado	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	560.52
Aluminio tricálcico hidratado	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	378.30
Sulfoaluminato de calcio hidratado*	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$	1237.22
Sulfoaluminato de calcio hidratado*	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	622.56

* Etringita.

de las rocas, por intemperismo y quedando solo los óxidos de hierro, aluminio y silicio, que son relativamente insolubles.

El yeso, como materia prima se añade al clinker, ambos son molidos para dar como resultado un polvo llamado cemento; la función del yeso es controlar el fraguado del cemento, es decir su endurecimiento.

Las materias primas señaladas, son adecuadamente preparadas por trituración, molienda y mezclado, siendo calcinadas y sinterizadas a temperaturas elevadas para producir el clinker. Los consumos relativos de las materias primas pueden variar, ya que las proporciones de caliza y arcilla dependen de su composición química respectiva.

METODO SECO. Se conocen dos métodos para la fabricación de cemento Portland: el seco y el húmedo. El proceso húmedo es poco utilizado ya que produce un alto gasto de combustible y de energía eléctrica. Por esta razón se describe únicamente el proceso seco, que es el más común, y el más económico.

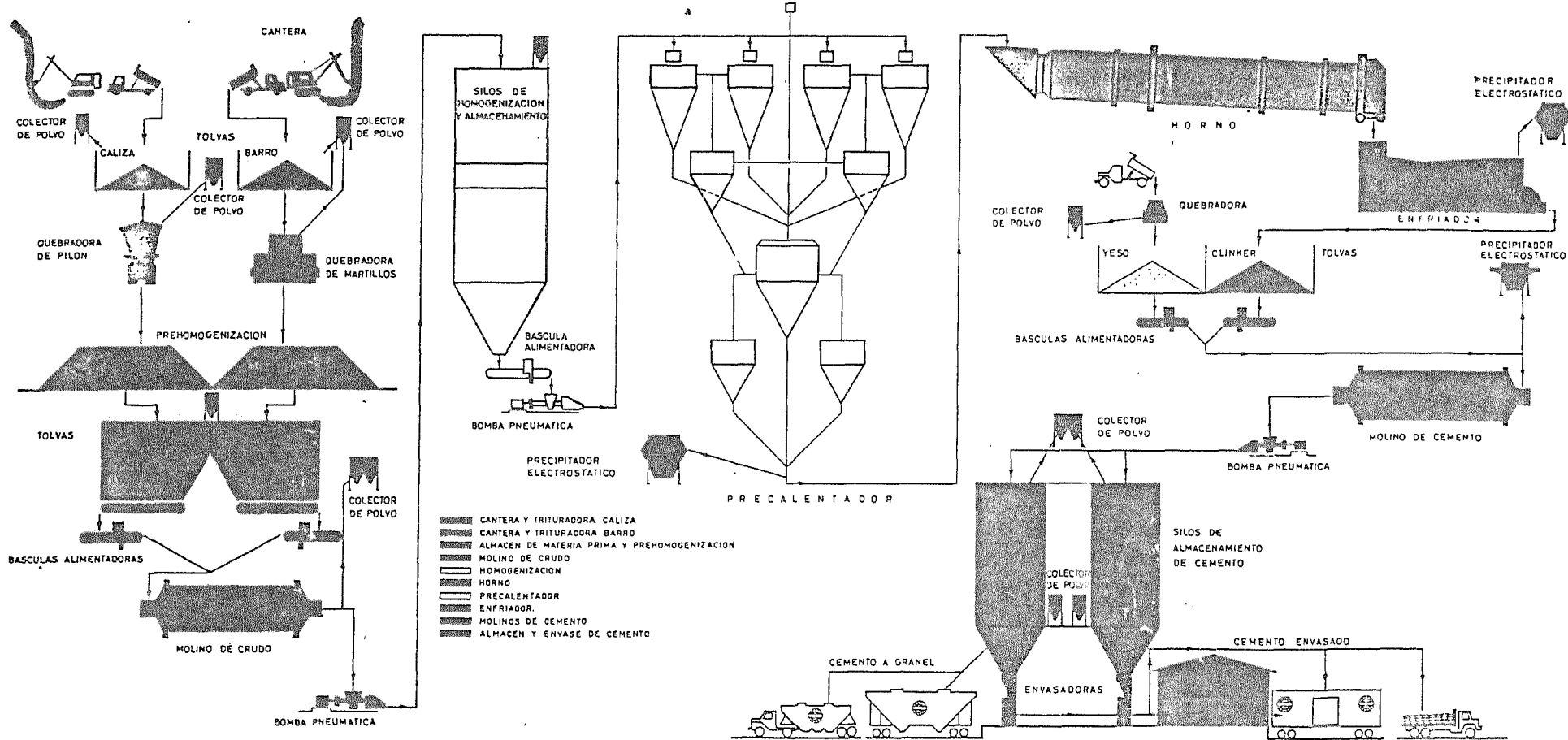
El proceso de fabricación se inicia, con la explotación adecuada de los yacimientos de materias primas. El mineral es triturado para reducir su tamaño, principalmente los materiales calcáreos, Ver diagrama No.1.

MOLIENDA. Los molinos de crudo o de cemento son imponentes cilindros rotatorios horizontales, que contienen bolas de acero de diversos tamaños; la longitud de los molinos va de 7 a 14 mt de largo y su diámetro es de 2 a 3 mt teniendo en su interior un revestimiento de placas de acero, las cuales pueden ser levantadoras o clasificadoras.

El material crudo que sale de los molinos, pasa a ser clasificado, separándose los finos de los gruesos. Esto se

DIAGRAMA No. 1

DIAGRAMA DEL PROCESO DE ELABORACION DE CEMENTO SISTEMA SECO



realiza por clasificación neumática y su función es optimizar el proceso de molienda. Los gruesos obtenidos son alimentados nuevamente al molino, mientras que el material fino es bombeado hasta los silos homogeneizadores y de aquí a los silos de almacenamiento o depósitos.

La clasificación según el tamaño de partícula, realizada en el separador, se basa en el principio de decantación o ley de Stokes.

CALCINACION. La mezcla de crudo es alimentada desde los silos hasta el horno, para su calcinación. Es la etapa más importante, de la fabricación de cemento, ya que en el horno es donde se van a formar los compuestos que propiamente constituyen el cemento.

Los hornos son cuerpos de acero cubiertos en su interior por refractarios capaces de soportar las altas temperaturas 1500 °C que se requieren para la producción de clinker. La longitud de estos hornos pueden llegar hasta 120 mt y su diámetro está comprendido entre 1.80 y 6.0 mt (2).

En los hornos son aprovechados los gases de la combustión para recalentar el material que va a ser calcinado, lográndose con esto una descarbonatación; es decir, los hornos utilizan a los precalentadores como una ayuda parcial para la descarbonatación del crudo. El crudo es alimentado al horno por su parte extrema superior, descendiendo a través de su interior, por el movimiento rotatorio y por la inclinación de 4% características de estos hornos. A medida que el material desciende en el horno, la temperatura es más alta, hasta llegar al extremo inferior donde se encuentra el quemador. Como combustible se emplean fuel-oil, gas natural y carbón natural.

En el proceso de calcinación se produce una combinación casi total del CaO, de la descarbonatación de la caliza, con los óxidos férrico, aluminio y silicio de la arcilla. Un buen proceso de calcinación produce normalmente un contenido de CaO libre menor del 1.5% (3).

El clinker producido es enfriado en mesetas o parrillas enfriadoras, por una corriente de aire. Este aire caliente que se produce por intercambio de calor, se utiliza para la combustión en los hornos, con lo cual se recupera en parte el calor desprendido del clinker. El clinker ya frío se deposita en patios de almacenamiento, para luego ser pasado a los molinos de cemento.

El clinker frío es molido con yeso, en molino de bolas. El molino está revestido de acero endurecido, u otros recubrimientos convenientes y es en general cargado con resistentes bolas de acero. La rotación del molino hace que las bolas al girar y caer compriman y friccionen la carga clinker y yeso, que suele alimentarse por un extremo y descargarse por el otro: para la fabricación de cementos especiales pueden utilizarse bolas de cerámica o de pedernal.

La molienda de la mezcla de clinker y yeso es similar a la del crudo; el material fino o producto es transportado al los silos de cemento, utilizando bombas neumáticas Fuller, o de banda. De los silos pasa a las máquinas envasadoras para su comercialización.

TIPOS DE CEMENTOS. De los cementos, el de mayor uso es el Portland. Hay 5 tipos de cementos Portland, de acuerdo a su composición química siendo:

1. Tipo I, común o normal.
2. Tipo II, modificado.
3. Tipo III, resistencia rápida y alta.
- 4.-Tipo IV, de alta resistencia a los sulfatos.

El cemento Portland blanco se suele clasificar como tipo I o tipo III. Se diferencia del Portland tipo I por su bajo o nulo contenido de óxido férrico y de aquí su color blanco. Como material arcilloso se utiliza caolin, con bajo contenido de hierro.

El cemento Portland tipo I es un cemento de usos generales. Se caracteriza por su alta resistencia mecánica; su uso se ve restringido en sitios propensos a la corrosión por sulfatos o donde el calor generado por la hidratación del propio cemento no cause una elevación apreciable de temperatura.

El Portland tipo II es utilizado en obras hidráulicas, porque posee un calor de hidratación bajo, y una resistencia moderada a los sulfatos. Se emplea por ejemplo en las construcciones de presas donde es necesario reducir la elevación de la temperatura.

El Portland tipo III desarrolla una gran resistencia mecánica a edades tempranas, obteniéndose una resistencia a los 7 días similar a la que se obtiene a los 28 días con el Portland tipo I; se utiliza en clima frío por su rápida resistencia pudiéndose descimbrar en pocas horas, y poner el concreto rápidamente en servicio. Además es útil en estructuras donde se pueda disipar el calor.

El Portland tipo IV se usa en lugares donde se requiere un bajo calor de hidratación. Posee menor calor de hidratación que los demás con lo que se reduce el peligro de agrietamiento que es común al elevarse la temperatura. Su resistencia a edades tempranas tiene un desarrollo muy lento; sin embargo posee una buena resistencia a los sulfatos.

Para las construcciones expuestas a los ataques severos de los sulfatos se prefiere el cemento Portland V que se caracteriza por su bajo calor de hidratación. Se recomienda, para ser usado en túneles, alcantarillas, y en todo tipo de estructuras, las cuales estén en contacto con suelos y aguas subterráneas que contengan una elevada concentración de sales.

Existen otros tipos de cemento que, se diferencian de los Portland por la adición de un porcentaje determinado de otros materiales. Son cementos especiales que pueden contribuir al ahorro de energía, de alta resistencia mecánica o química, etc. Entre estos se destacan:

1. Cemento puzolánico.
2. Cemento de escorias de alto horno.
3. Cemento de albañilería.
4. Cemento de cenizas volantes.
5. Cemento con alto contenido de alúmina.

También, se pueden añadir los cementos para pozo de petróleo, los cuales poseen diferentes adiciones. Este cemento y los señalados más arriba solo se fabrican bajo pedido. Entre los cementos de mayor producción en México se encuentran el Portland ordinario o normal, el puzolánico y el cemento blanco.

Los cementos especiales resistente a los sulfatos o para uso en obras marítimas. Se preparan a partir de material férrico, hematita, escorias ricas en óxido férrico, material silicoso, cuarzo, arena, cenizas volantes, etc.

En los cementos Portland y en los especiales, el yeso estará en función de la composición química de los otros materiales y del tipo de cemento que se desee fabricar.

Las composiciones de los 5 tipos de cementos Portland, aparecen resumidas en el Cuadro No.2.

CUADRO No.2 EJEMPLO DE COMPOSICION DE LOS 5 TIPOS
DE CEMENTO PORTLAND
(%)

Compuestos*	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
C_3S	48	44	51	30	46
C_2S	22	29	16	46	32
C_3A	10	6	12	5	3
C_4AF	8	11	7	13	12
Suma	88	90	86	94	93

(*)

C_3S = Silicato Tricálcico.

C_2S = Silicato Dicálcico.

C_3A = Aluminato Tricálcico.

C_4AF = Ferroaluminato Tetracálcico.

TEORIA DE HIDRATAACION DEL CEMENTO. Al mezclar el cemento con agua se forma una pasta cuya consistencia es plástica, fácilmente moldeable, tendiendo a perder esta propiedad a medida que pasa el tiempo y llegando finalmente al estado sólido. Esta transformación que sufre el cemento o pasta inicial se conoce como fraguado. Arbitrariamente se utilizan los términos de fraguado inicial y final para indicar el inicio y final de las reacciones de hidratación, pero el término de fraguado únicamente se refiere al cambio de estado viscoplástico al estado rígido.

Por lo tanto, se puede decir que el fraguado es el endurecimiento del cemento. Es producido por reacción química de hidratación entre los compuestos del cemento y el agua adicionada para formar la pasta.

Quizás se deba a Lavoisier el primer estudio cuidadoso, del endurecimiento de los morteros, quien publicó en 1765 la nota siguiente sobre el fraguado del yeso:

" Si el yeso, privado de su agua por el calentamiento, se trata de nuevo con agua, la toma con avidez, se produce una cristalización rápida y regular y los pequeños cristales que se forman están tan entrelazados unos con otros que dan por resultado una masa muy dura".

Vicat extendió esta idea al fraguado general de todos los tipos de cementos que tratados con agua, producen un material duro y resistente. Además, afirmó que el fraguado y el endurecimiento tienen lugar por una reacción química entre el agua, la cal (CaO) u otro material para formar un hidrato.

En el año de 1887, Le Chatelier explica claramente el proceso de endurecimiento de los cementos. A través de la hidratación, dividió la problemática en tres fases:

1. Fenómeno químico de hidratación
2. Fenómeno físico de cristalización
3. Fenómeno mecánico de endurecimiento

Según Le Chatelier el endurecimiento o resistencia final de la masa fraguada depende de la cohesión de los cristales y de su mutua adherencia entre ellos.

Se han presentado otras teorías del endurecimiento del cemento. Aquí se mencionan la hipótesis o teoría coloidal, presentada en 1864 por Michaëlis. Este investigador realizó experimentos por un espacio de 40 años, concluyendo que el endurecimiento de los cementos era producto de coloides de hidratación.

La teoría coloidal de Michaëlis suponía que el agua producía dos tipos de reacción. Primero disolución de cal, aluminatos, sulfatos, y otros compuestos, para precipitarse posteriormente varios compuestos cristalinos como aluminatos cálcicos, sulfoaluminatos cálcicos e hidróxido de calcio.

En conclusión, dos teorías sobre el endurecimiento del cemento han sido presentadas. Una sobre la hidratación presentada por Le Chatelier y, otra, sobre coloides definida por Michaëlis. Muchos investigadores han sugerido modificaciones para ambas teorías, mientras que otros han mantenido de que ambas en esencias son iguales.

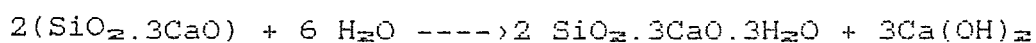
REACCIONES DE HIDRATAACION. De acuerdo con Zur Stassen (1959), el desarrollo de las reacciones en la hidratación del cemento está gobernado por la difusión. Para el C_3S la

reacción es tan rápida que el soporte ulterior de agua no está asegurado, mientras que para el C_2S es tan lenta que sí lo está. Por lo tanto, para las fases tan reactivas como el C_3A y C_4AF , debe ser válido que solo puede entrar en juego el agua que pueda ser transferida a través de las capas de difusión.

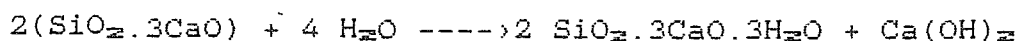
Las primeras reacciones de hidratación que se suceden son aluminato - sulfato - agua, y el comienzo de la reacción silicato - agua. W. Richartz, en 1965, distingue entre fraguado y endurecimiento tres estadios. En el primero de 3 a 4 minutos de duración, se producen solamente formaciones tubulares finas de $Ca(OH)_2$ y etringita; en el segundo, de 1 a 24 horas de duración, se producen en formas finas, alargadas, entrelazadas entre sí de los cuales, con los cristales aciculares de etringita dan a la estructura cierta estabilidad; el tercer estadio, implica un intervalo entre 7 y 28 días, donde los espacios libres de los poros son rellenados por silicatos de calcio hidratados (SCH) en cristales finos produciéndose una disminución de volumen.

Las reacciones de hidratación involucran de manera diferente a los constituyentes del cemento. La hidratación del C_3S produce una cantidad moderada de calor, estando la velocidad de hidratación controlada por el espesor de la capa de silicato cálcico hidratado. A medida que el grosor de esta capa crece, disminuye la velocidad de la reacción.

La hidratación del C_3S , contribuye a la resistencia del cemento a edades cortas, La reacción del C_3S es:

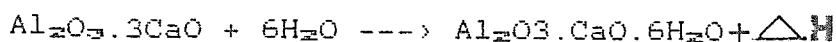


El C_2S , tiene una hidratación más lenta que el C_3S , que así contribuye a la resistencia tardía del concreto es decir, posterior a los 28 días. Esta hidratación también incluye parte de C_3S , que a esta edad aún no ha sido hidratado: la reacción de hidratación es la siguiente:

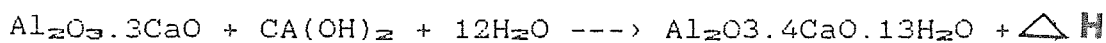


Los silicatos hidratados se abrevian como CSH. Su nombre mineralógico es Tobermorita o gel de tobermorita.

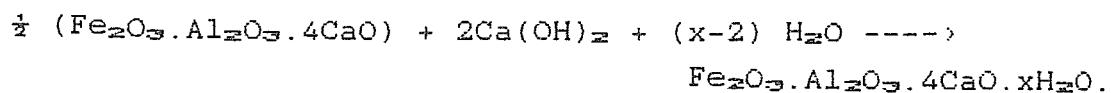
El C_3A se hidrata más rápidamente que los silicatos mencionados, produciendo una gran cantidad de calor de hidratación. La reacción es como sigue:



La presencia de hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$, cambia la reacción a:



Sobre la reacción del C_4AF se sabe que su hidratación es más lenta que la del C_3A , mientras que la contribución de ambos a la resistencia mecánica es casi nula. El producto final de la reacción del C_4AF es análogo a la del C_3A . La reacción es:



$x = 13 \text{ ó } 19.$

FRAGUADO DEL CEMENTO. Se define el fraguado de una pasta de cemento como el espesamiento inicial, que sucede normalmente en pocas horas; el endurecimiento es un proceso más lento y desarrolla las propiedades mecánicas.

Si se muele el clinker sin la adición del sulfato de calcio dihidratado (yeso), y se mezcla con agua, el C_3A presente en el clinker reacciona rápidamente, desprendiendo una gran cantidad de calor. La mezcla se consolida de una manera irreversible, seguida de un fraguado al que se le llama fraguado instantáneo.

Anteriormente se mencionó el papel del yeso en las reacciones de hidratación de regular la velocidad del fraguado. Por consiguiente, es esencial la adición de un porcentaje de yeso de manera que al mezclar el cemento con el agua las reacciones que se presenten sean (1):

- a. El agua disuelve el sulfato de calcio, y la cal para formar una solución de sulfato alcalina.
- b. El C_3A empieza a reaccionar rápidamente, con agua para formar el aluminato de calcio hidratado.
- c. El sulfato de calcio en solución reacciona con el aluminato de calcio hidratado para formar el compuesto llamado etringita ($C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$), que es insoluble y se deposita en la superficie del C_3A , formando así una barrera que controla la velocidad de hidratación.

FALSO FRAGUADO. Es un endurecimiento prematuro de una pasta de cemento, lo cual puede ser eliminado mediante un remezclado de la pasta de cemento. Este remezclado restablece la plasticidad perdida por dicha pasta; el fraguado falso es una de las variables físicas que más controlan los expertos del cemento. Ya que un fraguado falso elimina la trabajabilidad de la pasta del cemento o del

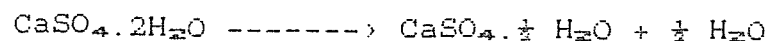
mortero. Para evitarlo se muele el clinker con un 2 ó 3% de yeso, o su equivalente en el contenido de SO_3 .

El falso fraguado es originado por la presencia de un yeso deshidratado, dando lugar a sulfato de calcio deshidratado o semihidratado ($CaSO_4$ y $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$), Puede suceder, además, que se presente una mezcla de sulfato de calcio dihidratado y de semihidratado; pero la mezcla más favorable para eliminar el falso fraguado es del semihidrato y el sulfato de calcio deshidratado; esta mezcla recibe el nombre de anhidrita.

La presencia de anhidrita y el semihidrato en el cemento posee una gran solubilidad, inclusive mayor que la del yeso. Al mezclarse con agua producen soluciones supersaturadas en relación con el yeso. Produciendo en este estado de supersaturación un gran depósito de yeso, lo que con el remezclado permite romper el falso fraguado.

La deshidratación del yeso se produce durante la molienda, con clinker, pues dentro del molino se producen temperaturas hasta de $150^\circ C$, además de que el clinker utilizado puede estar algo caliente. La reacción de deshidratación a esta temperatura es:

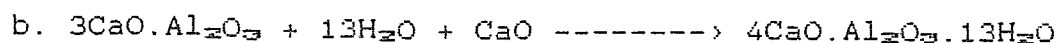
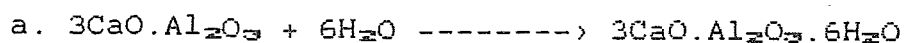
$150^\circ C$



Los molinos de cemento poseen en el segundo compartimento una esprea de agua la cual funciona de una manera automática, que permite se dispare a una temperatura fijada anteriormente para así disminuir la temperatura y evitar el falso fraguado.

El falso fraguado se manifiesta en el momento en que el cemento es mezclado con agua, produciéndose un endurecimiento inmediatamente, es decir mucho antes del tiempo normal de fraguado. Este endurecimiento se conoce como falso fraguado prematuro, quiere decir que no es un fraguado propiamente dicho.

Además, se menciona el fraguado rápido de los cementos, particularmente en aquellos que no contienen yeso u otro regulador del fraguado, de manera que al mezclarse con el agua se produce la hidratación de los aluminatos de calcio, según las siguientes reacciones (65):



Por lo tanto, una reacción rápida del C_3A con el agua es el responsable del fraguado rápido o instantáneo, como también se le llama. Ahora un fraguado lento o normal se debe a la hidratación del C_3S , el cual necesita de algunas horas para llegar al punto en que las mezclas corrientes de hormigón o mortero adquieran su rigidez.

RESISTENCIA A LA COMPRESION. La resistencia mecánica es la prueba que más les interesa a los usuarios del cemento.

Es sabido, que desde que el cemento recibe la adición del agua empiezan a verificarse las reacciones de hidratación y, a medida que va pasando el tiempo, la resistencia se va incrementando debido a la formación de

cristales de tobermorita (silicatos de calcio, los cuales se van formando a diferentes velocidades). Generalmente se considera el máximo de resistencia a los 28 días, aunque la resistencia sigue aumentando aún en proporciones pequeñas durante varios meses y hasta uno o dos años.

El silicato tricálcico (C_3S) se endurece rápidamente y da grandes resistencias iniciales, las cuales crecen de una manera lenta después de los 28 días; el silicato dicálcico (C_2S) tiene muy poca resistencia a los 7 días, pero a partir de un mes aumenta ésta de una manera acelerada, obteniéndose la misma resistencia al cabo de un año para los dos silicatos.

La adición de yeso tiene muy poco efecto sobre la resistencia de los silicatos. En cuanto a los aluminatos, su efecto sobre la resistencia a la compresión son prácticamente pequeños aunque puede mejorar algo con la presencia del yeso.

Por lo tanto, se puede decir que la resistencia en los primeros tiempos o edades, se debe principalmente al C_3S ; pero cuando prosigue la hidratación, el efecto del C_2S se vuelve cada vez más importante.

Un aumento del contenido del C_3S en el cemento produce una alta resistencia inicial. También una molienda más fina del clinker puede aumentar el valor de la resistencia, ya que aumentando la finura se incrementa la velocidad de hidratación y por consiguiente se aumenta el calor generado.

La determinación de la resistencia a la compresión se realiza por medios de unos prismas cúbicos de 5.8 cm. de lado, los cuales se hacen con una parte de cemento y 2.75 partes de una arena silícica. Estos prismas se van rompiendo a diversas edades: 1, 3, 7, y 28 días. En ocasiones se

pueden hacer determinaciones o pruebas, de la resistencia a edades tales como 3 meses, 6 y un año, con la finalidad de poder seguir el desarrollo de las curvas de resistencia mecánica.

La resistencia a la compresión se determina midiendo la carga máxima ($P_{\text{máx}}$) que soportan cada uno de los cubos o prismas, realizados a edades diferentes. Esta resistencia esta indicada en kg/cm^2 o en Pa y se obtiene dividiendo la carga entre el área (S) de la sección transversal del cubo o prisma.*

La resistencia a la compresión se calcula mediante la fórmula:

$$R = P_{\text{max}} / S$$

R = Resistencia a la compresión
 P_{max} = Carga máxima soportada
 S = Area transversal

La norma mexicana DGN-C-1-175** especifica el valor de la resistencia que deben tener los cementos Portland. El valor indicado por esta norma corresponde al menor valor a las edades de 3 y 7 días que deben presentar los cementos Portland tipo I. Estos valores son 130 y 200 kg/cm^2 para las edades de 3 y 7 días; esta norma no indica valores para la resistencia a 1 y 28 días.

Se menciona además, que la finura del cemento juega también un papel importante en el valor de la resistencia a

* NOM-C-61-1976; Determinación de Resistencia a la Compresión
 NOM = Norma oficial Mexicana .

** DGN = Dirección General de Normas.

la compresión. Por lo tanto se considera de interés tratar este aspecto a continuación.

FINURA. La velocidad de hidratación, el grado de complejidad de los procesos de hidratación, la estructura porosa de las pastas de cemento y algunas otras características dependen ampliamente de la finura de los cementos anhidros, con adiciones o sin ellas. Por otra parte, las propiedades y el comportamiento de los conglomerados en general y de los cementos con adiciones en particular, dependen mucho del clinker, de los materiales añadidos, de sus proporciones relativas y de su distribución granulométrica. Esta última, a su vez depende de la forma de la mezcla y de la molienda de los componentes.

La finura del cemento es un factor que junto con la composición química tiene influencia definitiva en la mayor parte de las propiedades del cemento, principalmente en lo que se refiere a la resistencia.

Para la clasificación del tamaño de partículas, se usan turbidímetros y aparatos de permeabilidad del aire. La medida de la finura se relaciona como la superficie específica. Esta se define como el área total de todas las partículas (las cuales se suponen de forma esférica), que están contenidas en un peso gramo de cemento. A medida que la finura aumenta, así aumenta el área superficial.

Es decir, un aumento de la finura tiene una influencia definitiva sobre la resistencia mecánica particularmente la resistencia a edad corta. Disminuye la expansión en autoclave y aumenta la trabajabilidad y cohesión del cemento.

Una buena resistencia a los ataques químicos, puede lograrse con una buena finura, ya que ésta aumenta la impermeabilidad, la resistencia al congelamiento y deshielo.

Sin embargo, aquellos cementos que posean una finura muy baja, o cementos gruesos, producirán resistencia bajas, y puede presentarse el fenómeno conocido, como exudación o sangrado. Este fenómeno, sucede cuando el agua utilizada en la mezcla logra alcanzar la parte superior del concreto, debido a la sedimentación de los sólidos, antes del fraguado inicial.

Una distribución homogénea de los granos en los compuestos del cemento, evita que no existan espacios vacíos, en la pasta.

CEMENTOS PORTLAND CON ADICIONES.

ANTECEDENTES. Si se da una breve ojeada a la historia de los cementos, se tropieza con un viejo preconcepto, que se relaciona a la confusa patente de Joseph Aspdin, inventor en 1824 del material que llamó cemento Portland. Durante mucho tiempo se entendió que dicho material debía consistir en el producto molido del material salido de los hornos.

En aquella ocasión se definía el cemento Portland, como el producto de molienda de rocas escoriñcadas obtenidas por cocción hasta reblandecimiento de una mezcla íntima de carbonato de calcio y de arcilla, rigurosamente dosificada, química y físicamente homogénea en todas sus partes. Este producto no admitía siquiera la adición de yeso, hasta el punto de que cualquier cemento que contuviera más del 1% de ácido sulfúrico o sulfuros en proporción dosable debía ser rechazado.

La adición de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) fue necesaria con la introducción de los hornos rotatorios debido a la presentación del falso fraguado, regularizándose en 1919, la cual no debía superar al 3% en peso del material cocido.

El cemento Portland durante muchos años consistía de clinker con una pequeña cantidad de yeso, necesaria para la regulación del fraguado. Cualquier otra adición se consideraba como adulteración del material.

Las adulteraciones más frecuentes en América, en el año 1911, fueron de crudos, escorias, puzolanas, cenizas, arenas, restos de materiales cerámicos, calizas y otros; se consideraba que todas estas adiciones disminuían la resistencia mecánica notablemente. Entre los métodos más simples, para poner de relieve estas adiciones se realizaban las determinaciones de:

- a. Peso específico (D)
- b. Pérdida por calcinación (P x I)
- c. Residuo insoluble (R.I)

Estas determinaciones aún tienen vigencia. Con el paso de los años surgió la necesidad de normalizar los cementos con adiciones y se comenzaron a utilizar en la Comunidad Económica Europea (CEE), los cementos Portland con adiciones activas. Para estos cementos, se aumentaron los límites de la pérdida por calcinación y del residuo insoluble, específicamente en los cementos puzolánicos y de cenizas volantes.

El empleo de las adiciones es cada vez mayor, en los países europeos, dando lugar a una gran variedad de cementos con composiciones y características muy variadas. El gran aumento de estos cementos, parece ser un proceso irreversible, el cual obedece a diferentes causas. Se puede mencionar entre estas causas las ecológicas y económicas.

Respecto a las ecológicas vamos a mencionar el caso de algunas industrias, las cuales dan lugar a grandes cantidades de subproductos, en principio de desecho y cuyo almacenamiento crea graves problemas de tipo ecológicos, paisaje y medio ambiente. Además, la eliminación de estos subproductos crea a su vez otros problemas de transporte. Tal era el caso de las escorias siderúrgicas en algunos países industrializados como Alemania, donde estudios realizados dieron lugar a cementos con adiciones de escorias siderúrgicas y de alto horno.

En la actualidad estos cementos son fabricados por muchos países y entre sus principales cualidades están, su gran resistencia a los ataques por sulfatos y aguas del mar.

También, puede mencionarse otro caso similar de utilización de desechos para la producción de cementos con adiciones y es la utilización de cenizas volantes, la cual es un subproducto de centrales termoeléctricas, alimentada con carbón pulverizado. Entre las ventajas de estos cementos pueden citarse su actividad puzolánica.

Es decir, que adiciones de cenizas volantes, puzolanas naturales y artificiales presentan una mayor resistencia química frente a los ataques de los sulfatos de los terrenos y del agua del mar. También se puede decir que estos cementos presentan macro y micro porosidades mucho menores que los de las pastas de cemento Portland puros, debiéndose ésto a sus respectivos mecanismos de hidratación.

La penetración por difusión y capilaridad de los iones Cl^{-1} y los SO_4^{-2} , causante del ataque y escasa durabilidad de las pastas del cemento Portland "puros", disminuye en el caso de los cementos con escorias y también puzolánicos, haciéndolos más resistentes frente a cualquier tipo de ataque químico (4).

Las razones económicas, son bien conocidas debido al hecho que la industria cementera es gran consumidora de combustibles y de energía eléctrica.

Tal como se mencionó en los antecedentes de las adiciones, la crisis del petróleo de los años setenta, produjo una gran escasez de combustible que influyo directamente en la industria cementera, dando lugar a un gran encarecimiento.

Por tanto, la industria cementera tuvo que buscar alternativas para mantener e incluso incrementar y abaratar la producción de cemento y, simultáneamente aumentar su

calidad. Es aquí donde entran en juego las adiciones, las cuales suelen llamar algunos investigadores como activas y entre las que sobresalen las escorias, puzolanas naturales, puzolanas artificiales, cenizas volantes y humo de sílice.

ADICIONES ACTIVAS. Existen materiales que al mezclarse con el clinker de cemento Portland e hidratarse conjuntamente presentan una actividad hidráulica, la cual se deriva de su reacción con la cal liberada por el clinker. Los materiales que presentan esta actividad hidráulica, se encuentran en la naturaleza (puzolanas naturales) o en diversos subproductos industriales (puzolanas artificiales). Además pueden incluirse las cenizas volantes producidas en las centrales térmicas de carbón, las escorias siderúrgicas y metalúrgicas.

Al conjunto de puzolanas, cenizas volantes y escorias, se les llama adiciones "activas". Es decir que las adiciones, que se realizan al clinker, se vienen clasificando como activas e inertes siendo esta clasificación un poco simplista, ya que esta clasificación solamente obedece al aspecto de actividad hidráulica.

Además, suelen utilizarse los términos, puzolánicidad* e hidráulicidad* latente o potencial; la primera es característica de las puzolanas naturales o artificiales, cenizas volantes y arcillas térmicamente activadas. La puzolánicidad consiste en la reacción de los elementos ácidos (principalmente la sílice) de dichos materiales con la cal de la hidrólisis del cemento para dar silicatos hidratados hidráulicos análogos al del clinker a plazos más largos, los cuales por su relación cal/sílice, algo más baja, dan una pasta hidratada más cerrada e impenetrable.

* Son términos empleados por los investigadores españoles.

Por estas características, los cementos puzolánicos, de igual finura que los cementos Portland tipo I, logran obtener las mismas resistencias mecánicas, a edades más largas.

En cuanto a la hidráulicidad potencial o latente, se considera específica de las escorias siderúrgicas.

El uso de estas adiciones data del inicio de siglo, siendo las puzolanas naturales y las escorias siderúrgicas las más utilizadas. Desde el año 1940, se ha venido incrementando el uso de cenizas volantes, por su disponibilidad y un mayor conocimiento de las mismas.

La fabricación de estos cementos, tenía como finalidad, producir un cemento más resistente a los ataques químicos y de menor calor de hidratación que el Portland "puro". Estos cementos se utilizaban en obras marítimas, presas y en los terrenos agresivos.

Los cementos con adiciones activas, deben de ser una alternativa totalmente válida a los cementos Portland ordinarios, de la misma categoría de resistencia.

El uso de adiciones activas e inactivas puede eliminar o atenuar bastante las insuficiencias o deficiencias de los cementos Portland puros, en determinados usos y empleos.

ADICION DE CALIZAS. Las adiciones de caliza al clinker, se viene considerando como inerte, o "filler", diluyente del cemento. Los inertes calizos, son materiales de naturaleza inorgánica y origen calcáreo, compuestos principalmente por carbonato de calcio, en forma de calcita, que molidos conjuntamente con el clinker del cemento Portland, en

proporciones determinadas, actúan de una manera beneficiosa durante el proceso de molturación del clinker.

Las adiciones de calizas en algunos cementos, se pueden considerar clásicas; sin embargo el conocimiento de su posible actividad químico-física es bastante reciente.

La primera noción que, a este respecto se hizo referencia fue la de epitaxia, entendiéndose por tal el crecimiento orientado de dos especies cristalinas diferentes, fenómeno que se da cuando existen ciertas analogías en la forma y dimensiones de los retículos cristalinos de ambas sustancias (5).

La existencia de una liga epitaxica entre la pasta del cemento y los agregados calcáreos fue defendida por Vie, Farran, y otros (5). También se ha determinado que la caliza interviene en la cinética de formación de los geles tobermoríticos, incrementando la resistencia mecánica de las pastas de cementos y formando carboaluminatos que existen con la etringita.

Se ha comprobado (Spohn y Lieber), que la adición de calcita proporciona una mayor resistencia a las probetas de ensayos y que además produce cierta influencia sobre los tiempos de fraguados, pudiéndose utilizar parcialmente en lugar del yeso en su papel de regulador del fraguado. En el curso de las reacciones de hidratación, sea en pasta o en suspensión acuosa, el CaCO_3 reacciona con el C_3A y el C_4AF para formar el compuesto $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (6).

Parece ser, que la adición de calcita finalmente molida es beneficiosa para el cemento y que, incluso, se puede observar una cierta elevación de las resistencias mecánicas, siempre y cuando se opere en límites prudentes, y no se empleen calizas de mala calidad. Es decir calizas de

composición margosa o de carácter dolomítico, las cuales son muy sensibles a las reacciones de los álcalis.

Es decir, aparte de las adiciones llamadas activas, el nombre de adiciones "inertes" se ha venido utilizando injustamente, para las adiciones de caliza, dado que no lo son en absoluto.

La adición de caliza presenta una actividad real en función de finura, como en el caso de las activas. Estas producen una acción separadora y dispersante de los gránulos del clinker, así como de los componentes de los mismos. La dispersión favorece e intensifica su contacto con el agua de amasado, favorece la aceleración de los procesos de fraguado y endurecimiento (ver diagramas 2 y 3.). Esta acción de la caliza se considera de naturaleza física o, si se prefiere, físicomecánica.

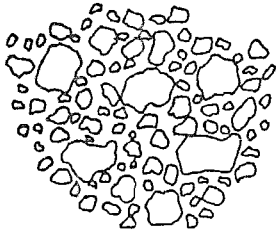
La adición de caliza hasta el 5% en todos los cementos está admitida actualmente en las normas de varios países. En Europa, se pueden señalar a Austria, Checoslovaquia, Francia, República Federal Alemana, Grecia, Holanda y otros. Las ventajas que favorecen este cemento, con 5% como máximo de caliza son:

1. La caliza actúa beneficiosamente durante el proceso de molturación del clinker y de los demás componentes según el tipo de cemento, favoreciendo los rendimientos de las instalaciones y rebajando los consumos energéticos.

2. Mejora las condiciones reológicas de las pastas cementantes, facilitando la colocación en obras de morteros y hormigones.

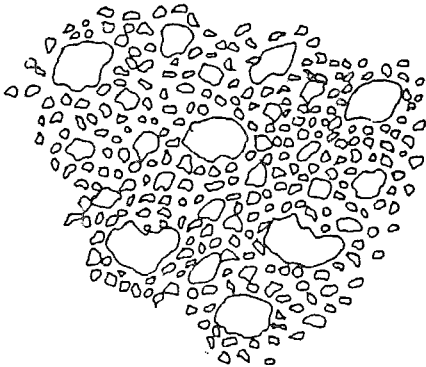
3. La caliza contenida en el cemento actúa en el hormigón no solo como dispersante de los gránulos de clinker sino

I

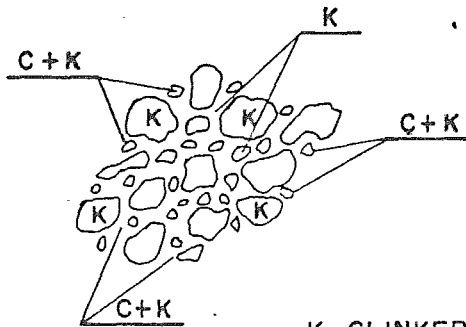


DISPERSION DE LAS PARTICULAS GRUESAS DEL CEMENTO POR LAS MEDIANAS Y MAS FINAS DEL MISMO

II

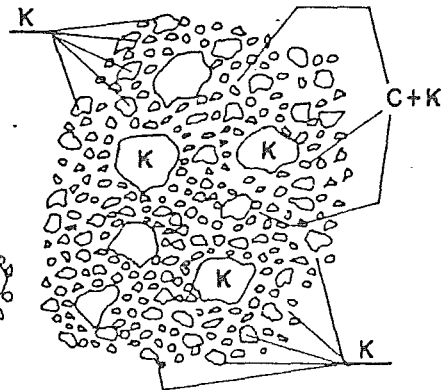
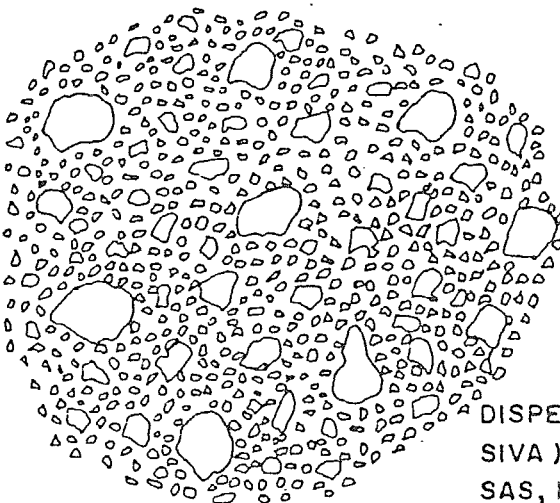


DISPERSION MAYOR (MEJOR) DE LAS PARTICULAS GRUESAS Y MEDIANAS DEL CEMENTO POR LAS MEDIANAS Y MAS FINAS DEL MISMO Y DE LA CALIZA

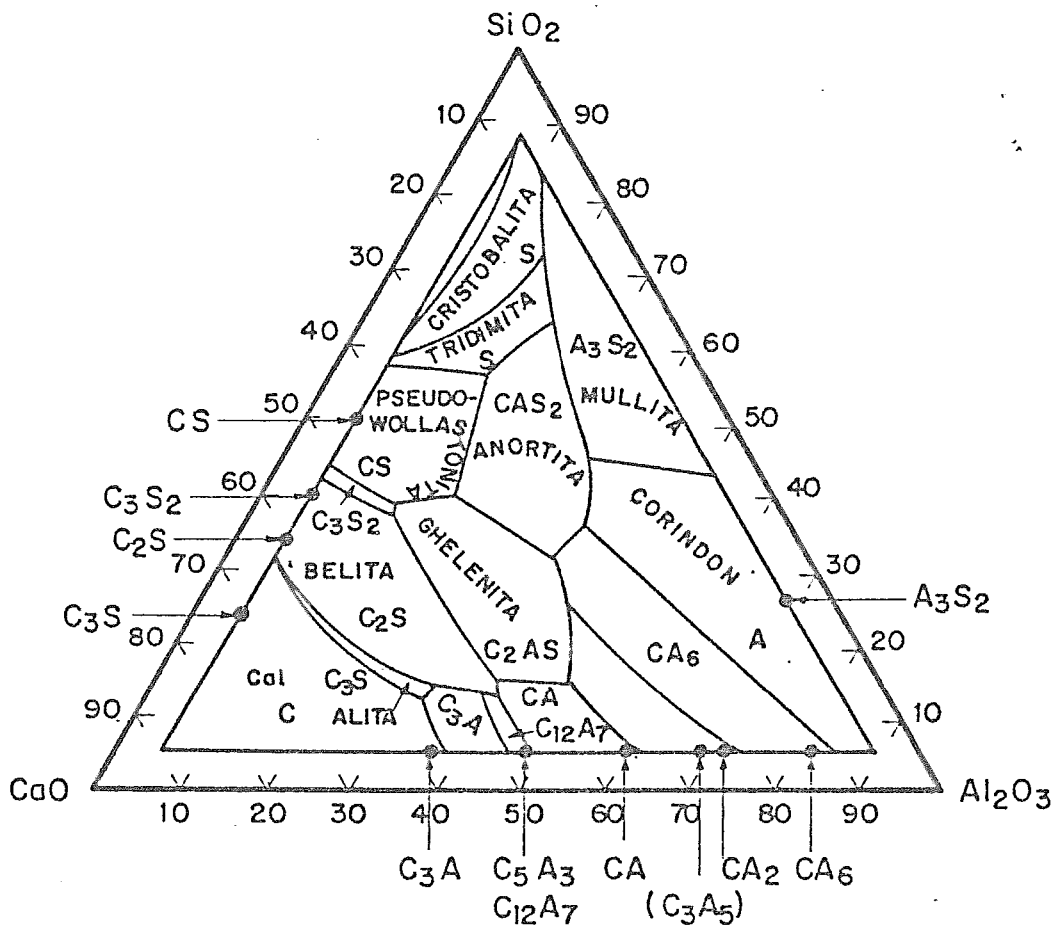
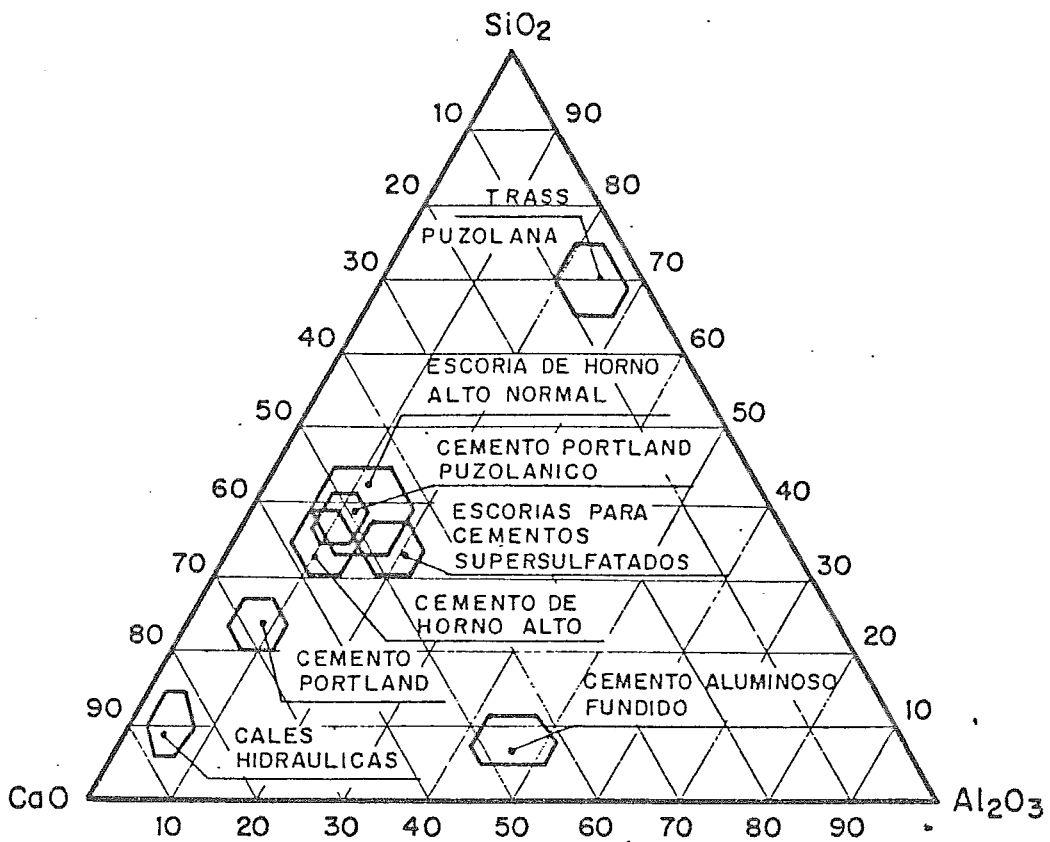


K- CLINKER
C - CALIZA

III



DISPERSION MUCHO MAYOR (EXCESIVA) DE LAS PARTICULAS GRUESAS, MEDIANAS Y MAS FINAS DEL CEMENTO, POR LAS AUN MAS FINAS DE LA CALIZA.



también de los otros componentes (caso en que se contengan escorias o puzolanas), ejercita una acción dispersante que contribuye a acelerar los procesos de hidratación, con las ventajas de aumento de resistencia mecánica, impermeabilidad y mejora la resistencia química frente a medios agresivos.

Existen adiciones altas de caliza al clinker, entre las que se citan la francesas y españolas, que agregan hasta un 35% de caliza. Estas adiciones dan lugar a cementos de baja resistencia, a todas las edades, de una menor velocidad de endurecimiento. Son utilizados para trabajos de albañilería, pero nunca para fines estructurales.

Para los cementos con baja o alta cantidad de caliza, el porcentaje de CaCO_3 debe de ser mayor que 90%, y teniendo para los elementos menores el siguiente contenido (7):

Elementos	Límite máximo(%)	Observaciones
Al_2O_3	2	Libre de arcilla.
Equivalente SO_3	0.5	No pirita.
MgO	5	Libre de dolomita.

Cabe señalar, que estas especificaciones son para los cementos franceses.

En las normas francesas, se le suele llamar cementos compuestos, a aquellos cuyos porcentajes de inertes se encuentran hasta un máximo del 35% de dichas adiciones. Las adiciones consideradas como inertes en las normas citadas son las calizas (margosa o no) y la arena sílice (sílice en forma de cuarzo); para la adición de caliza esta queda menos

definida que la arena, pues puede ser más o menos margosa, e incluso dolomítica.

En lo que respecta a México, no se produce cemento con adiciones de caliza; las adiciones empleadas más comunes son de puzolanas y de cenizas volantes.

CALIZA. El material calizo más importante es la caliza, que se presenta en las formas de creta, como caliza sedimentaria, metamórfica o marmol y carbonatitas (1).

De los materiales que se utilizan para la fabricación de cemento, la caliza es el más importante. La caliza es una roca carbonatada, compuesta de calcita, aunque la dolomita puede, a veces, ser un constituyente importante. Algunas calizas son casi calcita pura, mientras que otras contienen impurezas como la arcilla y óxidos. El color de la caliza es generalmente gris, aunque también puede ser blanca, amarilla, parda, hasta negra.

La caliza oolita es una variedad que consiste de agregados de concreciones esféricas pequeñas; la palabra oolítica se usa para designar masas de huevecillos. El término de caliza oolítica se refiere a los granos en forma de huevos de peces.

A menudo la roca sedimentaria de caliza, está compuesta de conchas o fracciones de conchas pegadas unas a otras; esta clase de caliza se le conoce como coquina y se usa en la decoración de edificios.

Existen además unas variedades de calizas, como creta que es fácilmente desmenuzable. La creta posee granos muy finos, además, puede estar compuesta de conchas diminutas, de foraminíferos.

La calcita, en sus diversas formas es uno de los minerales más ampliamente distribuido. Es constituyente secundario en las rocas ígneas, donde resulta de la acción de aguas carbonatadas sobre silicatos de calcio, además, es un componente muy distribuido de las rocas sedimentarias.

Los porcentajes de calcita (CaCO_3) varían en esas rocas llegando a aparecer en masas grandes, como el único o el principal constituyente.

IMPUREZA. En los materiales calizos se suelen presentar una amplia variedad de impurezas. Entre la más importante está la magnesia (MgO), los compuestos de flúor, los sulfuros y óxidos metálicos. También pueden citarse fosfatos y materiales silicosos como el pedernal. Cada una de estas impurezas, presentan diferentes efectos en la fabricación de cemento Portland.

La presencia de magnesia en la caliza provoca expansiones en el concreto. Las normas mexicanas* permiten hasta un 5 % como máximo de magnesia en el cemento.

Los sulfuros se oxidan a sulfato y forman conchas o costras en los precalentadores utilizados a la entrada de los hornos. La presencia de sulfatos puede provocar bloqueos de los crudos al ser alimentados al horno para su calcinación.

Existen otros materiales, que aparecen también como impurezas, pero no indeseables. Entre estos materiales pueden citarse el óxido de silicio (presente en la arena), arcilla y pizarra. Cuando la proporción de éstos es correcta y suficientemente distribuida en la caliza, el material es conocido, por supuesto, como roca de cemento natural. La concentración de fábricas de cemento en el Lehigh Valley de los Estados Unidos, está, motivada por la presencia de este tipo de roca (1).

Los depósitos de conchas marinas son también otros materiales calizos que pueden ser extraídos del fondo del mar. También se incluyen aquí a las margas, rocas

*DGN-C-1-1975; Especificaciones Químicas.

sedimentarias calcáreas, dándose el caso de que pueden llegar a utilizarse solas en la fabricación del cemento, sin tener que utilizar ningún tipo de adición, ni otros materiales.

CALCITA. El principal componente de las calizas es la calcita. Se presenta en cristales bien desarrollados tales como columnares, transparentes y hexagonales además romboédrica y transparentes. Una característica de ésta última es que refracta la luz en dos direcciones diferentes en el cristal.

La calcita está compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3) y las variedades de grano fino pueden identificarse por su efervescencia con el ácido clorhídrico en frío. El uso más importante de la calcita es la manufactura del cemento; pero la variedad cristalina de caliza, conocida como mármol, se usa mucho como piedra ornamental (8).

Aquellas calizas que son capaces de ser pulidas se usan para fines ornamentales o arquitectónicos.

MOLIENDA DE LOS CEMENTOS CON ADICIONES. Para los cementos con adiciones la finura juega un gran papel. Aquí debe de existir una relación entre la distribución granulométrica del clinker y la de los materiales adicionados. Estos materiales adicionados, activos e inertes, llenan los espacios o huecos y actúan como estabilizadores (véase diagrama No.2).

Las adiciones activas, además de llenar los espacios vacíos, forman nuevos compuestos, que llenan a su vez los huecos aún ocupados por el agua, con lo que contribuyen a mejorar la resistencia y permeabilidad. Quiere decir, que mientras más finos son los granos de las adiciones (puzolanas, escorias, cenizas volantes, etc) y los del

cemento, mayor es su superficie específica reactiva, más pequeños serán los poros que quedan entre los productos de hidratación formados y más estrechos son los espacios entre las partículas de la pasta. Un cemento molido a una alta finura es mucho menos permeable.

La finura se expresa en términos de superficie específica (Blaine), cuyas unidades son cm^2/gr , es decir por un valor numérico, que no dice nada acerca de lo que realmente nos interesa. La granulometría resulta más útil ya que indica una relación del tamaño de las partículas del cemento; mediante una curva llamada curva granulométrica del cemento. Con esta relación queda determinado que no todos los tamaños de granos del cemento tienen la misma actividad y eficacia en las propiedades del cemento, pues los muy finos son inoperantes por su hidratación excesivamente rápida, mientras que los gruesos representan una hidratación lenta. Debe pues, tratarse en una curva granulométrica que el cemento no tenga ni excesivo número de partículas gruesas ni de partículas finas.

Se ha establecido que el intervalo de tamaños de partículas comprendido entre 5 y 10 μM es el que ejerce una mayor influencia en la resistencia y que la ganancia en ésta se puede conseguir con mayor finura, debido probablemente a una distribución más uniforme de los productos de hidratación en la pasta (9).

Es decir, que la adición más fina es más activa que la gruesa; por esa razón en la fabricación de cementos con adiciones se muelen a mayor finura los componentes que se encuentren en un porcentaje menor al 30%, particularmente si las adiciones son activas.

Esta afirmación es válida para las escorias de alto horno, las puzolanas naturales y las cenizas volantes. Se va

a considerar un ejemplo específico, para un cemento con escoria de alto hornó, dependiendo de las proporciones de clinker o escoria, el componente en menor proporción relativa será el que deba de ser molido a mayor finura. Para un cemento que posea una relación de clinker/escoria de 70/30, la escoria será molida a mayor finura, mientras que en una mezcla 30/70, el clinker debe ser molido a mayor finura.

Por consiguiente, la calidad de los cementos con adiciones depende mucho de la técnica empleada en la molienda. Se sabe que la llamada molturabilidad o aptitud para la molienda es una propiedad característica de cada material. Al producirse una adición se debe tener en cuenta, esta aptitud, ya que el material de menor molturabilidad (facilidad de molienda) se molerá más fácilmente.

Por consiguiente, si se somete conjuntamente a una operación de molienda en circuito abierto a dos materiales con diferente índice de trabajo, se molerá más fácilmente aquel que lo tenga más bajo; o sea, que en los finos aparecerá un mayor porcentaje de los materiales de menor molturabilidad o movilidad, mientras que en los gruesos va a suceder lo contrario.

En la industria del cemento este problema será menor, ya que el proceso de molienda se realiza por circuito cerrado; los materiales con mayor índice de trabajo permanecen mayor tiempo en el molino.

A continuación, se indican los índices de trabajo o aptitud de molienda para algunos materiales.

<u>Materiales</u>	<u>Peso específico</u>	<u>Indice de trabajo</u>
Yeso	2.69	6.73
Caliza blanda	2.66	6.73
Escorias de alto horno	3.88	9.97
Caliza dura	2.64	12.54
Clinker Portland	3.15	13.45
Arena sílice	2.67	14.10

Si se consideran los valores anteriores, puede predecir lo que pasará en la molienda de un cemento con caliza, en circuito abierto: en los finos predominará la caliza y, en el residuo, el clinker.

MOLIENDA CONJUNTA Y SEPARADA. En el Simposio de Tokio (1970) Niko Stutterheim, propuso la molienda separada para los cementos de escorias. Consideraba que únicamente este proceso podía considerar a la finura de la escoria como una variable controlada. Una afirmación surgida, además de la anterior, fue la ventaja de la molienda separada sobre la conjunta. Así, para adiciones al clinker menores al 5% (diferentes al yeso) se recomienda la molienda conjunta, pero para adiciones mayores la separada.

La molienda por separado del clinker y de las tobas, con subsiguiente mezcla de ambos proporcionan mejores resistencias con bajos consumos de energía, en comparación con la molienda conjunta. En este último caso, las diferencias entre la finura (granulometría) del clinker, y de la toba son grandes, con resultado de resistencias más bajas debido probablemente a una interacción menos uniforme entre los granos reactivos de los componentes (9).

Sin embargo, la introducción de finos (incluso activos), parece tener una influencia relativamente benéfica

sobre ciertas características de los morteros: retracción, fisuración, variación de volumen y los fraguados se retardan algo sin un efecto grave a una temperatura de 20°C.

Todo pasa como si las adiciones no tuvieran otra influencia que la de "finos de arena"; al disminuir la cantidad de cemento en el mortero disminuye la fisuración y la variación de volumen (10).

Las resistencias disminuyen en función de la dosificación de los finos añadidos. Para el 10% parece ser que los resultados no son muy bajos, pero para el 20 y el 35% los resultados son más débiles. Parece que los finos adicionados, solamente ejercen su influencia si poseen una granulometría diferente a la del clinker con la que pueden introducirse en los espacios intersticiales.

Debe hacerse énfasis en que no sólo la distribución de partículas por tamaño es importante en cuanto a las propiedades y comportamiento de los materiales, particularmente en lo que concierne a la hidratación de cementos Portland con adiciones, y también en otras propiedades que dependen de la condición física de las superficies creadas en la molienda.

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL

PARTE EXPERIMENTAL

Para la realización de esta investigación, se partió de las siguientes materias primas:

- a. Clinker de cemento Portland tipo I
- b. Caliza.
- c. Yeso.

Materiales que fueron suministrados por Cementos Tolteca, S.A. de C.V.

Como primera tarea de preparación de las muestras se realizarán varias moliendas de clinker y yeso, a diferentes blaines; además, moliendas de caliza a blaines o superficies específicas diferentes. Estos materiales fueron caracterizados química y físicamente en especial la caliza, que no debía ser dolomítica, ni margosa, pues ello introduce en el cemento la periclasa, que es responsable de la expansión a largo plazo en el hormigón.

Por tanto, la caliza a utilizar debe ser calcita pura, es decir que posea aproximadamente 95% de carbonato de calcio (CaCO_3).

Con los materiales indicados se produjo un cemento con adición de caliza. Este cemento fue comparado con un Portland tipo I, y por medio de análisis se determinó si podía sustituirlo.

Este cemento de adición, fue preparado de dos formas:

- a. Adicionando caliza de blaine constante a diferentes muestras de cementos de blaines variables.

b. Adicionando caliza de diferentes blaines a muestras de cemento Portland de blaine constante.

A cada muestra del cemento obtenido de la forma señalada anteriormente, le fueron realizadas pruebas de resistencia mecánica, con la finalidad de conocer la modificación de la resistencia por la adición de caliza.

Los resultados fueron obtenidos, utilizando un porcentaje constante de caliza. De estas adiciones se seleccionó una caliza y un cemento, de blaines diferentes; esta selección se hizo tomando en cuenta los valores de la resistencia a la compresión, en comparación con un cemento patrón.

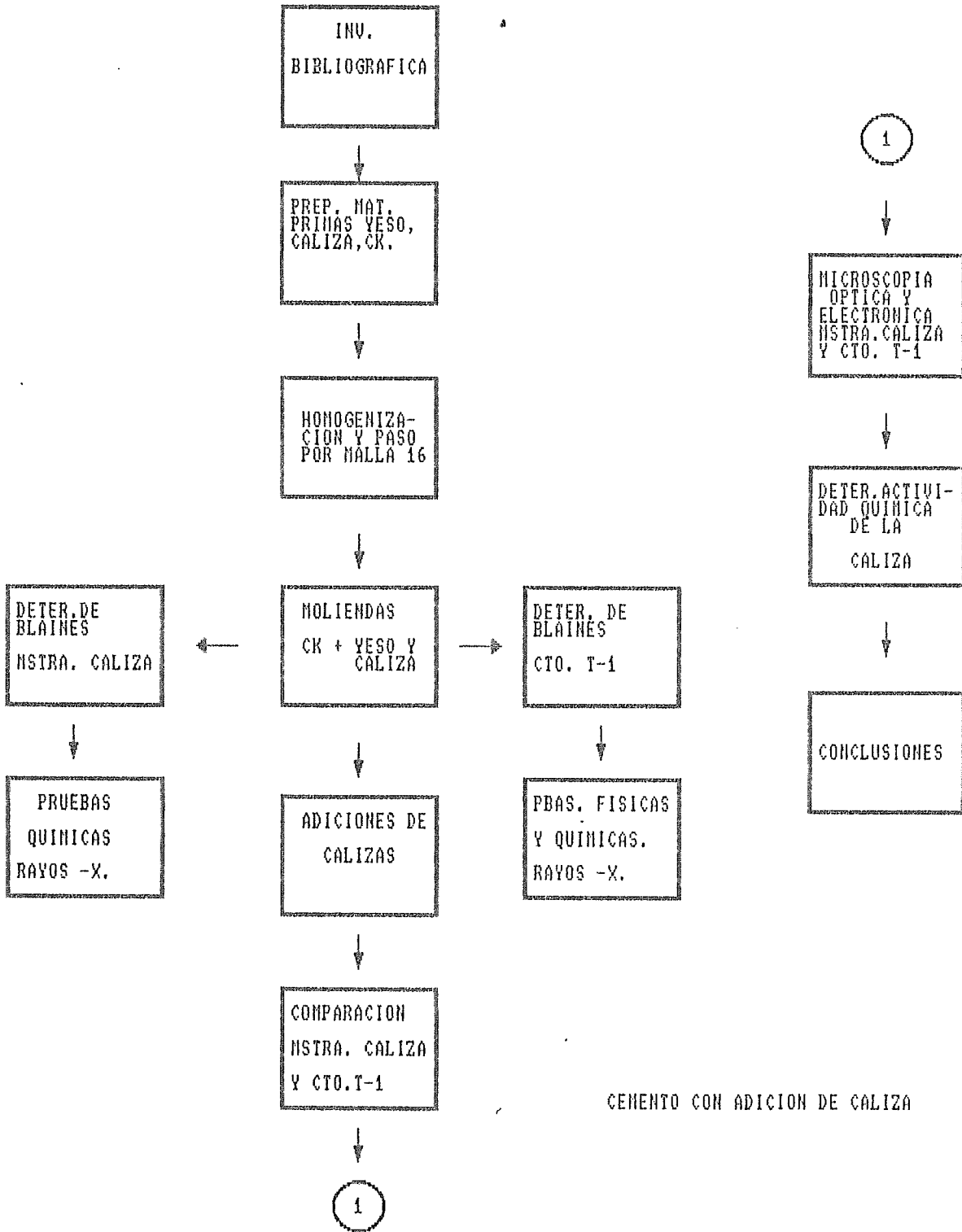
Al cemento seleccionado como de blaine óptimo, le fueron adicionados diferentes porcentajes de calizas, desde 0 hasta 30%. Se tomó como cemento patrón aquel que poseía el 0% de caliza, o sea un cemento Portland tipo I. El objetivo de estas adiciones de calizas fue buscar el porcentaje óptimo de adición, sin que éste afectase en demasía la resistencia a la compresión, en comparación con el patrón.

El porcentaje de caliza, seleccionado como ideal para la muestra preparada mediante molienda separada se comparó con otra muestra producida con molienda conjunta, la cual tenía el mismo porcentaje de caliza. Con esta comparación, se buscó determinar las diferencias entre ambos métodos de preparación.

Por consiguiente, a la muestra óptima (sin importar la forma de preparación), se le hicieron los análisis de control, tal como lo establecen las normas nacionales y extranjeras. Entre los análisis de interés están los de difracción de rayos-x, microscopia óptica y microscopia electrónica de barrido. La finalidad de estos controles fue

determinar si la adición era activa o inactiva. Estos se conocerán por estudio de muestras hidratadas, a diferentes edades.

No. 1



CEMENTO CON ADICION DE CALIZA

TECNICAS EMPLEADAS. Las técnicas de análisis utilizadas, para la evaluación de las materias primas del cemento Portland tipo I y del cemento con adición de caliza, fueron las siguientes:

1. Análisis químico por vía húmeda
2. Pruebas físicas de control de calidad, para los cementos
3. Difracción de rayos-x, en muestras hidratadas, cementos anhidros y en caliza
4. Fluorescencia cuantitativa de rayos-x, por el método de pastillas fundidas
5. Microscopia óptica, en secciones pulidas y desgastadas por luz reflejada y transmitida. En muestra de clinker, caliza y cementos hidratados
6. Microscopia electrónica de barrido, para muestras de cemento anhidro, hidratado, y en la caliza
7. Análisis puntual, por microscopia electrónica de barrido, y cementos anhidro, hidratado y en la caliza

Las pruebas químicas, fueron clasificadas en dos grupos:

1. Componentes principales.
 - a) Oxido de silicio (SiO_2)
 - b) Oxido de aluminio (Al_2O_3)
 - c) Oxido férrico (Fe_2O_3)

d) Oxido de calcio (CaO)

2. Componentes menores.

- a) Oxido de potasio (K_2O)
- b) Oxido de sodio (Na_2O)
- c) Residuo insoluble (R.I)
- d) Pérdida por ignición (PxI)
- e) Anhídrido sulfúrico (SO_3)
- f) Cal libre (CaO)

PREPARACION MATERIAS PRIMAS. La caliza suministrada por Cementos Tolteca es del cerro de Cuatla o Soyatla, la cual esta expuesta en Cerro Blanco de Apaxco, en la Palma y en el Cerro Soyatla. Los diagramas 4 y 5 muestran las secciones de procedencia de la caliza, la cual esta libre dolomita.*

Se partió de 30 kg. de caliza, que fueron triturados y pasados por malla 16. Se secaron a $110^{\circ}C$.

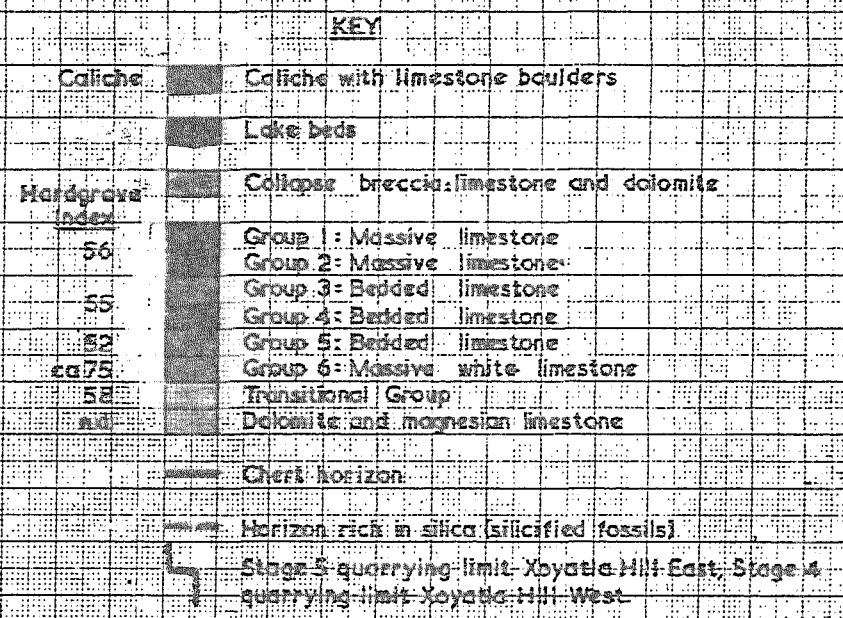
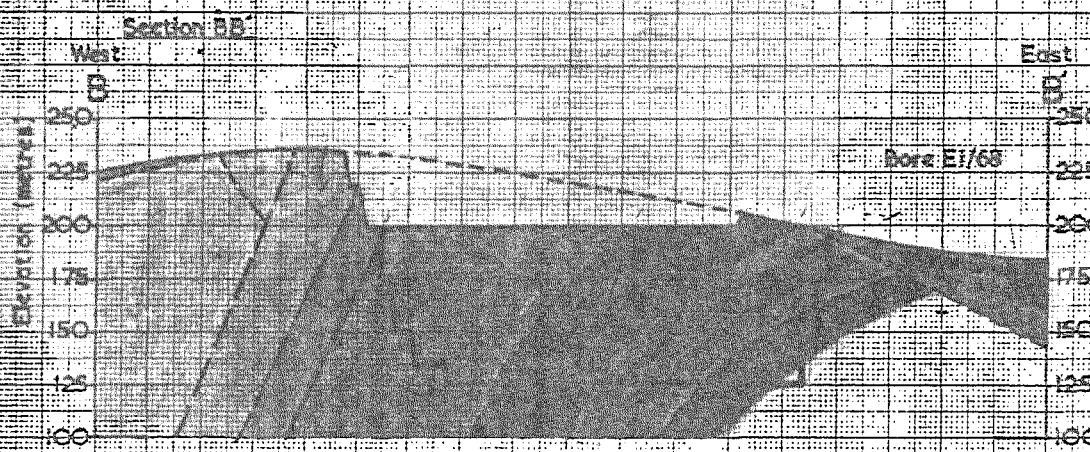
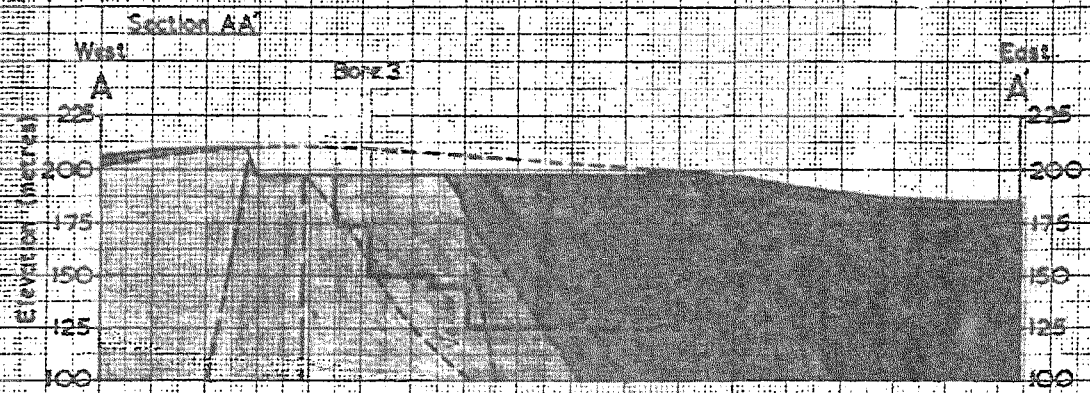
La muestra fría fue homogeneizada y se procedió a la preparación de muestras de diferente superficie específica o "blaines"; en la molienda se utilizó el sistema de circuito abierto, en un molino experimental de laboratorio, cuya capacidad es de 5.2 kg. Con una carga de bola, de diferentes diámetros, distribuido como sigue:

<u>Diámetro de bola (pulgada)</u>	<u>Cantidad (kg)</u>
1 1/4	6.5
1	13.5
3/4	21.5
5/8	23.5
3/8	16.0

* García, F. Geólogo Consultor, Atotonilco de Tula, Hidalgo.

XOYATLA HILL SECTIONS AA AND BB

Diagrama No. 4



Scale: 1/2500 (1cm equals 25metres)

57032AB AUG. 1968

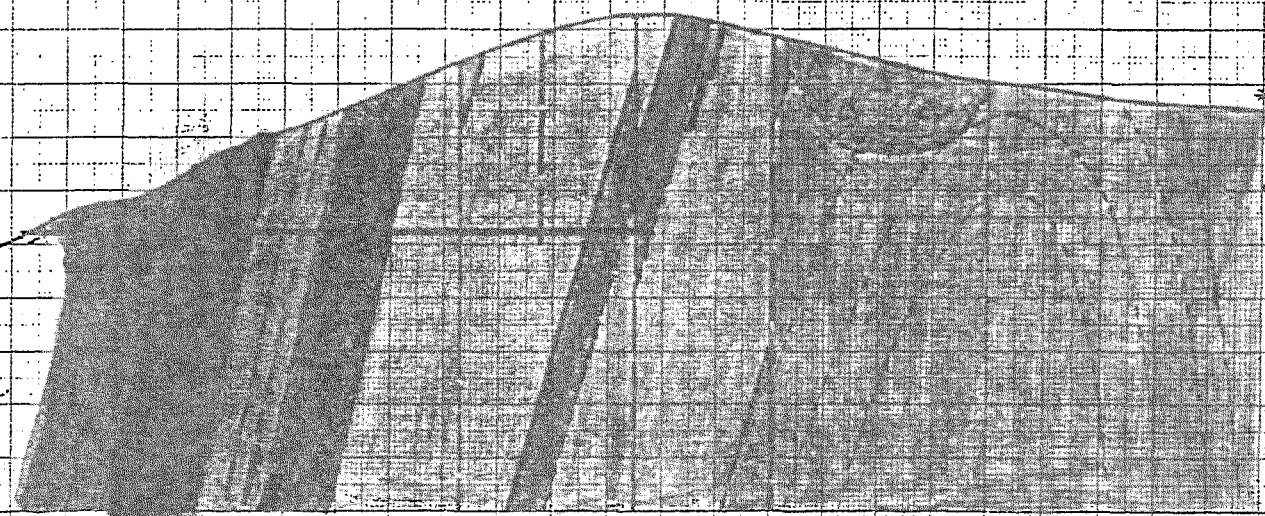
XOYATLA HILL - SECTION DD'

Section DD'

Diagrama No.5

West
D

5
3
1
0
1
2
3
4
5



East
D
350
300
250
200
150
125

Bore E3/65

Scale : 1/2500 (1cm. equals 25 metres)

S76320 AUG 19

DENSIDAD. Para preparar las diferentes muestras de caliza es necesario conocer la densidad del material, debido a que este valor es utilizado en los cálculos de la superficie específica (blaine). La densidad se calcula tomando una muestra que represente el 50% de la carga del molino, a un giro específico. Se utiliza el balón de Le Chatelier para dicha determinación.

DETERMINACION DEL BLAINE. El equipo utilizado para determinar la superficie específica lleva el nombre de su inventor, Blaine. Consta de unos dispositivos que tienen la función de dejar pasar una cantidad determinada de aire a través de una capa preparada de cemento de porosidad establecida o conocida. La muestra se coloca en una celda de permeabilidad que está conectada a un manómetro en forma de U, el cual contiene un líquido orgánico, que no debe ser volátil ni higroscópico, y de viscosidad y densidad baja.

El aparato de Blaine determina el tiempo en que el nivel del líquido contenido en el manómetro pasa de una marca establecida al hacer vacío (mediante una perilla colocada en uno de los extremos del tubo en U), hasta otra marca más baja, por el paso de aire a través de la celda de permeabilidad.

La fórmula que se usa para las determinaciones de los diferentes blaines es:

$$S = S_n \sqrt{T / T_n}$$

En donde:

S = Superficie específica de la muestra normalizada, utilizada en la calibración del aparato unidades cm^2/gr .

Tn = Tiempo en segundos necesario, para el descenso del nivel de aceite en el manómetro, en la muestra normalizada.

T = Tiempo en segundos, necesarios para el descenso del nivel de aceite en el manómetro, para la muestra en estudio.

Se utilizaron 90 kilogramos (kg) de clinker para realizar varias moliendas. Se trituro la muestra, para reducir su tamaño y, luego de ser pasado por malla 16, se seleccionó el pasante, el cual fue homogeneizado, antes de ser molido con un 5% de yeso.

La fórmula de preparación del yeso fue similar a la seguida por el clinker. La única diferencia entre ambas fue el secado de las muestras. El yeso después de ser pasado por la malla 16, se seco a 50°C , durante 24 horas (ver esquema No.2).

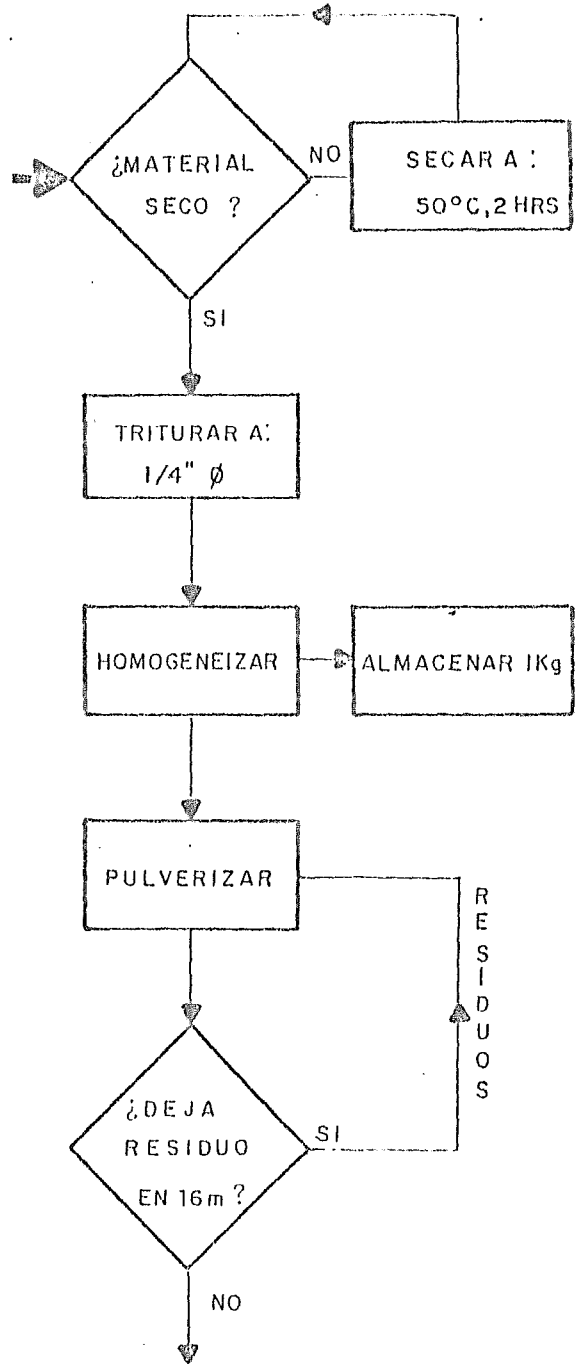
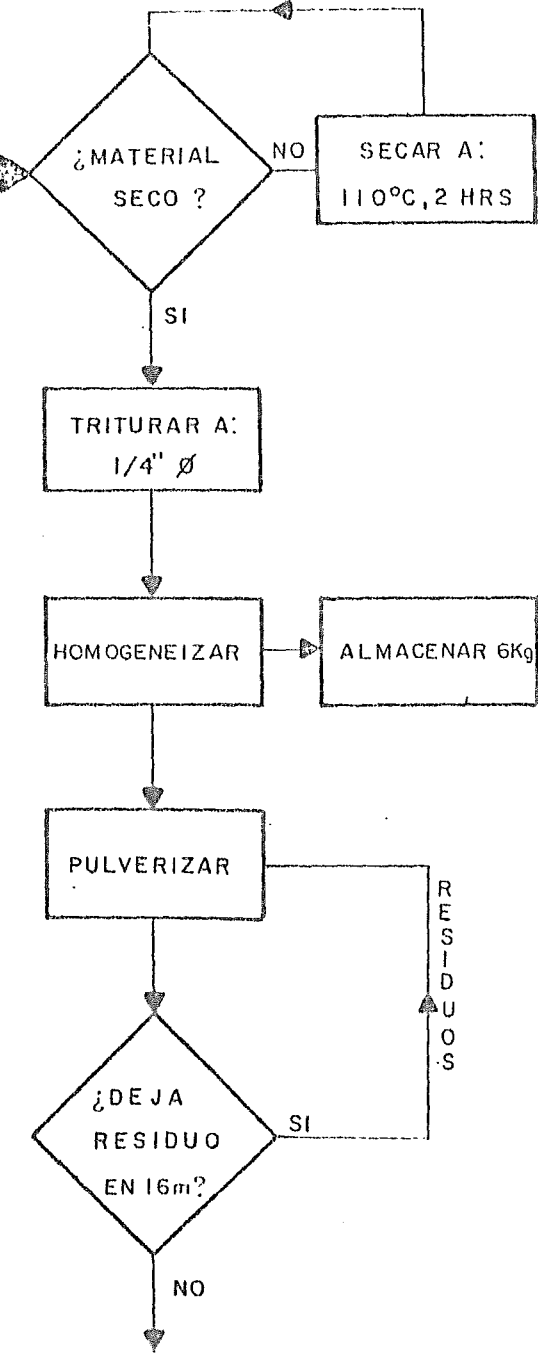
En forma similar al caso de las moliendas de caliza, se determinó la densidad del producto o cemento. Con la determinación de la densidad del cemento producido, fue posible hacer los cálculos de los blaines para las muestras de cemento.

Los blaines obtenidos aparecen tabulados en los cuadros 3 y 4. Con estos valores fueron obtenidas dos gráficas (gráficas 1 y 2), para la caliza y el cemento.

PREPARACION DE MUESTRAS

CLINKER O PUZOLANA
(12 kg c/u)

YESO
(2 kg)



Kg CLINKER O PUZOLANA

1Kg YESO

MOLIENDAS DE MATERIAS PRIMAS

CALIZA PROCEDENCIA ATOTONILCO.

CUADRO NO.3

REVOLUCIONES	BLAINE OBTENIDO (cm ² /gr)
250	2,326
350	3,512
365	3,874
375	4,015
620	4,955
750	5,993

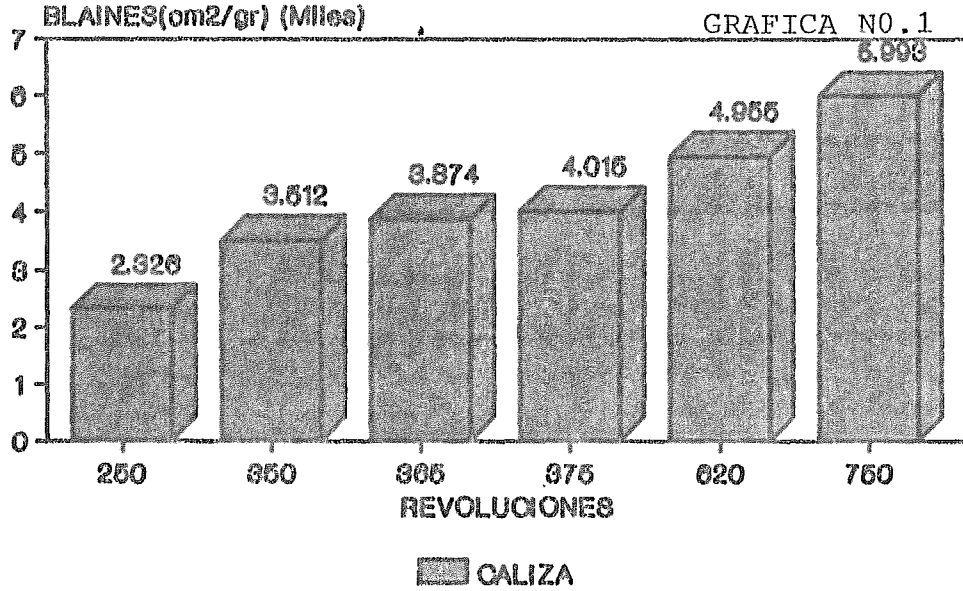
MOLIENDA DE CLINKER + YESO

CEMENTO PORTLAND TIPO I.

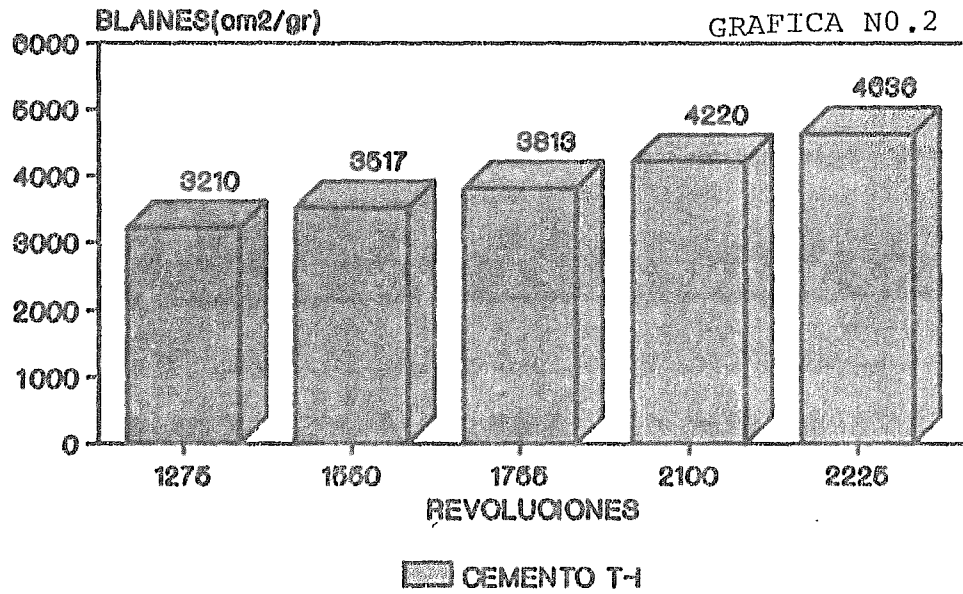
CUADRO NO.4

REVOLUCIONES	BLAINE OBTENIDO (cm ² /gr)
1,275	3,210
1,550	3,517
1,775	3,813
2,100	4,220
2,225	4,636

REVOLUCIONES vs BLAINES MOLIENDA DE CALIZA



REVOLUCIONES vs BLAINES MOLIENDA CLINKER + YESO



ANALISIS QUIMICO CALIZA Y YESO. Estas pruebas fueron realizadas a la caliza y al yeso. La caliza se analizó por vía húmeda y por fluorescencia cuantitativa de rayos-x**, mientras que el yeso únicamente fue analizado por fluorescencia cuantitativa de rayos-x.

Para el análisis por rayos-x la muestra fue fundida para preparar una pastilla de vidrio utilizando como fundente al tetraborato de litio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$). Esta pastilla se obtiene fundiendo 10 gr de $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ conjuntamente con un peso o cantidad específica de la muestra, durante 20 minutos a una temperatura de 1200°C.

Los valores obtenidos para el yeso y la caliza, aparecen en los cuadros números 5, 6 y 7.

** Phillips, Modelo PW 1400

CUADRO NO.5

ANALISIS VIA HUMEDA

CALIZA PROCEDENCIA ATOTONILCO.

BLAINE 4955 cm²/gr.

DETEMINACIONES	FORMULAS	PORCENTAJE (%)	RANGO (%)
OXIDO DE SILICIO	SiO ₂	3.63	1 - 10
OXIDO DE ALUMINIO	Al ₂ O ₃	0.20	0.1 - 5
OXIDO DE HIERRO(III)	Fe ₂ O ₃	0.24	0.1 - 2
OXIDO DE CALCIO(TOT.)	CaO	53.2	30 - 55
OXIDO DE MAGNESIO	MgO	0.26	0.1 - 3
ANHIDRIDO SULFURICO	SO ₃	0.11	0.04 - 0.3
RESIDUO INSOLUBLE	R.I.	0.32	-
PERDIDA POR IGNICION	P X I	41.75	-
OXIDO DE SODIO	Na ₂ O	0.001	0.04 - 0.2
OXIDO DE POTASIO	K ₂ O	0.092	0.04 - 0.2
TOTAL	-	99.80	-
CAL LIBRE	CaO	0.24	-

CUADRO NO.6

ANALISIS FLUORESCENCIA CUANTITATIVA DE R-X

CALIZA PROCEDENCIA ATOTONILCO.

BLAINE 4955 cm²/gr.

DETEMINACIONES	FORMULAS	PORCENTAJE (%)	RANGO (%)
OXIDO DE SILICIO	SiO ₂	3.90	1 - 10
OXIDO DE ALUMINIO	Al ₂ O ₃	0.35	0.1 - 5
OXIDO DE HIERRO(III)	Fe ₂ O ₃	0.19	0.1 - 2
OXIDO DE CALCIO(TOT.)	CaO	53.13	30 - 55
OXIDO DE MAGNESIO	MgO	0.35	0.1 - 3
OXIDO DE TITANIO(IV)	TiO ₂	0.03	0 - 0.15
OXIDO DE FOSFORO(V)	P ₂ O ₅ .	0.04	0.01 - 0.1
PERDIDA POR IGNICION	P X I	41.6	-
OXIDO DE SODIO	Na ₂ O	0.18	0.04 - 0.2
OXIDO DE POTASIO	K ₂ O	0.10	0.04 - 0.2
TOTAL	-	99.9	-
CAL LIBRE	CaO	-	-

CUADRO NO.7

ANALISIS FLUORESCENCIA CUANTITATIVA DE R-X

SULFATO DE CALCIO DIHIDRATADO (CaSO₄.2H₂O). YESO

DETEMINACIONES	FORMULAS	PORCENTAJE(%)	RANGO (%)
OXIDO DE SILICIO	SiO ₂	5.19	< 1
OXIDO DE ALUMINIO	Al ₂ O ₃	0.81	< 0.3
OXIDO DE HIERRO(III)	Fe ₂ O ₃	0.29	< 0.2
OXIDO DE CALCIO(TOT.)	CaO	27.18	32 - 38
OXIDO DE MAGNESIO	MgO	1.44	< 1
ANHIDRIDO SULFURICO	SO ₃	44.63	41 - 50
RESIDUO INSOLUBLE	R.I.	-	0.05 - 3
PERDIDA POR IGNICION	P X I	20.1	-
OXIDO DE SODIO	Na ₂ O	0.00	-
OXIDO DE POTASIO	K ₂ O	0.18	< 0.1
OXIDO DE TITANIO(IV)	TiO ₂	0.06	-
OXIDO DE MANGANESO(VI)	Mn ₂ O ₃	0.09	-
OXIDO DE FOSFORO(V)	P ₂ O ₅	0.02	< 1
TOTAL	-	100.00	-
CAL LIBRE	CaO	-	0.02 - 0.5

PREPARACION DE DIFERENTES CEMENTOS.

Adición de 10% de caliza de blaine constante, a diferentes cementos de blaines variables.

Se procedió a la preparación de diferentes mezclas, tomando una muestra de caliza, cuyo blaine era de 5993 cm^2/gr . Esta muestra es de mayor superficie específica.

Cada mezcla fue homogeneizada y se utilizó para formar los morteros. Las proporciones utilizadas de los materiales, fue de una parte de cemento y 2.75 partes de arena graduada de Ottawa (arena C-109).

La relación de agua/cemento (A/C) utilizada en los morteros fue constante con un valor de 0.485, ya que se consideró inicialmente, que este cemento sería igual a un cemento Portland tipo I, pero con adición de caliza.

Se prepararon cinco muestras, de cemento con los blaines siguientes: 3210, 3517, 3814, 4220 y 4636 cm^2/gr . A cada muestra se le adicionó 10% de caliza, cuyo blaine era de 5993 cm^2/gr . Con estas muestras de cementos con adición de caliza se procedió a preparar los morteros tal como se indicó anteriormente.

Los morteros se utilizaron para preparar los cubos o prismas, los cuales fueron utilizados para determinar la resistencia a la compresión a tres edades diferentes: 3, 7, y 28 días. El número de cubos obtenidos para cada muestra fue de nueve, quiere decir que se tomaron 3 para cada edad (Ver los cuadros números 8,9,10,11, y 12, y gráfica No. 3).

ADICION DE 10% DE CALIZA DE BLAINES VARIABLES. Se tomó una muestra de cemento de blaine igual a 3814 cm^2/gr , y se le adicionó un 10% de caliza de los siguientes blaines: 2326, 3512, 3874, 4015, 4955, y 5993 cm^2/gr . Con estas adiciones se prepararon seis muestras de mezclas de cemento + 10% de caliza de blaines variables.

Se procedió de la misma forma que en el caso anterior para determinar la resistencia a la compresión de las mezclas formadas. Los valores obtenidos aparecen en los cuadros números 13, 14, 15, 16, y 17 y en la gráfica No. 4.

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10% DE CALIZA
 BLAINE DEL CEMENTO 3210 cm^2/gr
 BLAINE DE LA CALIZA 5993 cm^2/gr

67

CUADRO NO.8

EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	13-02-89	17-02-89	10-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6150	7545	8325
2	6075	7290	8235
3	6180	7620	8220
PROMEDIO	6135	7485	8260
RESISTENCIA(kg/cm^2)	238	290	320

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10% DE CALIZA
 BLAINE DEL CEMENTO 3516.7 cm^2/gr
 BLAINE DE LA CALIZA 5993 cm^2/gr

CUADRO NO.9

EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	13-02-89	17-02-89	10-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6840	7710	9420
2	6645	7845	8925
3	6825	7560	9030
PROMEDIO	6770	7705	9125
RESISTENCIA(kg/cm^2)	262	298	353

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10% DE CALIZA
 BLAINE DEL CEMENTO 3813 cm²/gr
 BLAINE DE LA CALIZA 5993 cm²/gr

68

CUADRO NO.10

EDADES(dias)	3	7	28
FECHAS	17-02-89	21-02-89	14-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6780	7980	9600
2	6765	7935	9435
3	7035	8010	9765
PROMEDIO	6860	7975	9600
RESISTENCIA(kg/cm ²)	266	309	372

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10% DE CALIZA
 BLAINE DEL CEMENTO 4330 cm²/gr
 BLAINE DE LA CALIZA 5993 cm²/gr

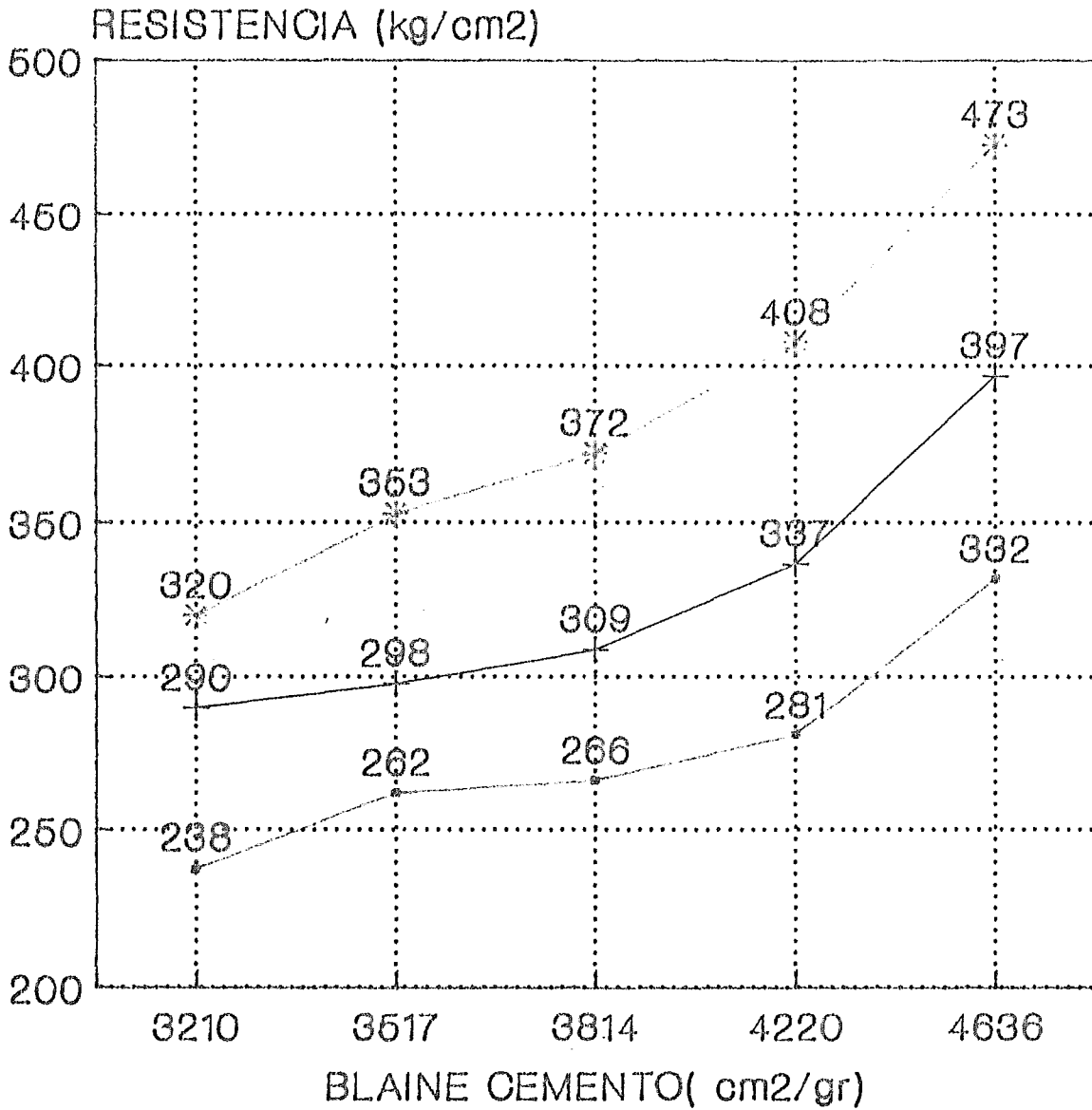
CUADRO NO.11

EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	17-02-89	21-02-89	14-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	7305	8775	10500
2	7215	8565	10695
3	7230	8730	10395
PROMEDIO	7250	8690	10530
RESISTENCIA(kg/cm ²)	281	337	408

CUADRO NO.12

RESISTENCIA A LA COMPRESION			
CEMENTO + 10 % DE CALIZA. BLAINE DEL CEMENTO 4636 cm ² /gr. BLAINE DE LA CALIZA 5993 cm ² /gr.			
EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	17-02-89	21-02-89	14-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	8190	10530	11745
2	8490	10095	12000
3	9015	10125	12915
PROMEDIO	8565	10250	12220
RESISTENCIA (kg/cm ²)	332	397	473

RESISTENCIA vs BLAINE CEMENTO +10 % CALIZA



—●— RES 3 DIAS —+— RES 7 DIAS —*— RES 28 DIAS

BLAINE CALIZA CONSTANTE(5993 cm²/gr)

RESISTENCIA A LA COMPRESION

71

CEMENTO + 10 % DE CALIZA
 BLAINE DEL CEMENTO CONSTANTE
 BLAINE DE LA CALIZA 2326 cm²/gr

CUADRO NO. 13

EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	18-02-89	22-02-89	15-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6675	8265	10065
2	6045	8025	9930
3	6300	8400	10620
PROMEDIO	6340	8230	10205
RESISTENCIA(kg/cm ²)	246	319	395

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10 % DE CALIZA
 BLAINE DEL CEMENTO CONSTANTE
 BLAINE DE LA CALIZA 3416 cm²/gr

CUADRO No. 14

EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	18-02-89	22-02-89	15-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6300	8715	10665
2	6405	8415	10125
3	6555	8730	10140
PROMEDIO	6420	8620	10310
RESISTENCIA(kg/cm ²)	249	334	399

RESITENCIA A LA COMPRESION

72

CEMENTO + 10 % DE CALIZA
BLAINE DEL CEMENTO CONSTANTE
BLAINE DE LA CALIZA 3874 cm²/gr

CUADRO No.15

EDADES(dias)	3	7	28
FECHAS	20-02-89	24-02-89	17-02-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6750	7845	9900
2	6105	7770	9960
3	6600	7710	10140
PROMEDIO	6485	7775	10000
RESISTENCIA(kg/cm ²)	251	301	387

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10 % DE CALIZA
BLAINE DEL CEMENTO CONSTANTE
BLAINE DE LA CALIZA 4015 cm²/gr

CUADRO No.16

EDADES(dias)	3	7	28
FECHAS	20-02-89	24-02-89	17-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6225	8355	10260
2	6015	8505	10455
3	6240	8640	10050
PROMEDIO	6160	8500	10255
RESITENCIA(kg/cm ²)	239	329	397

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10 % DE CALIZA
 BLAINE DEL CEMENTO CONSTANTE
 BLAINE DE LA CALIZA 4955 cm²/gr

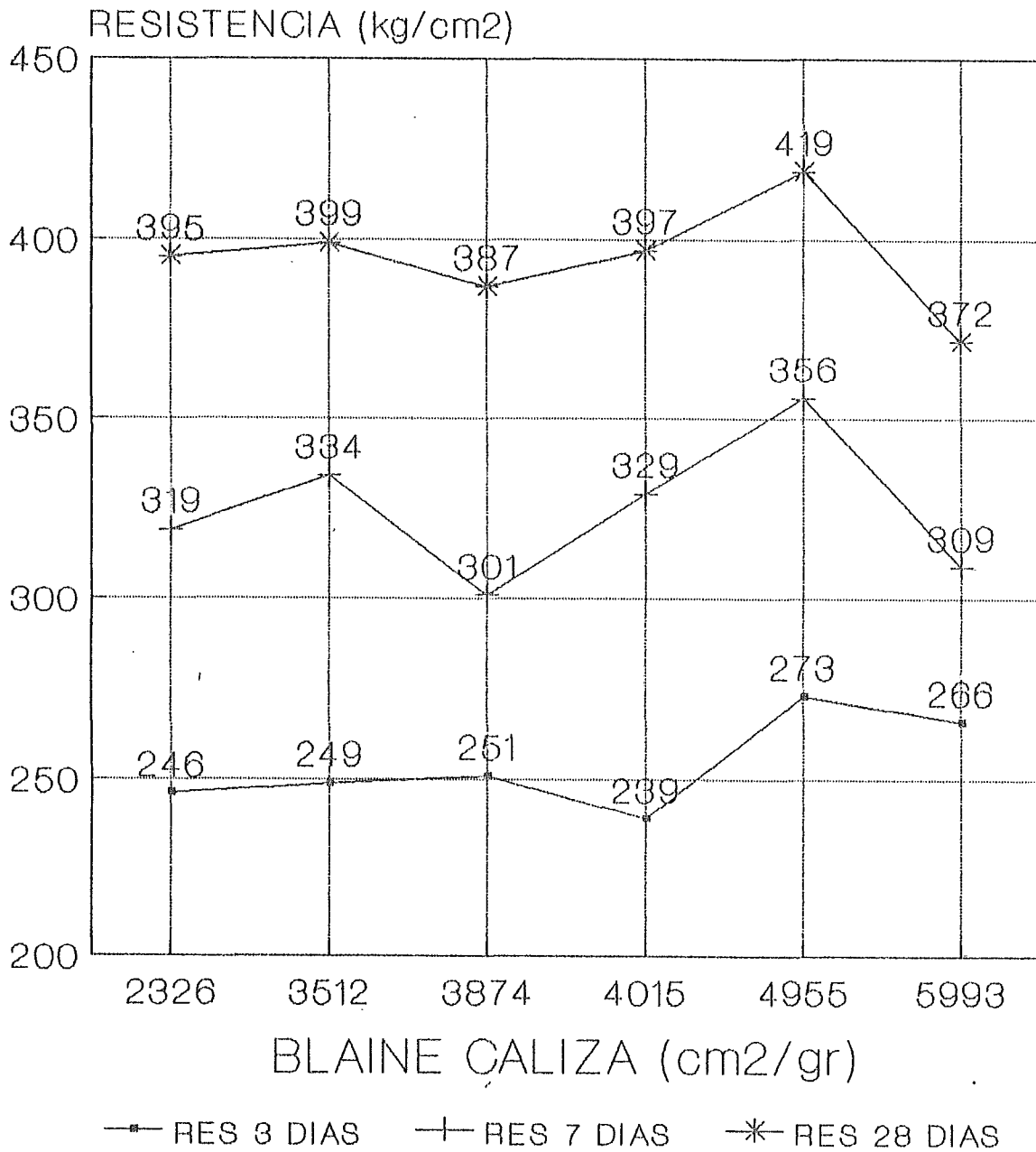
CUADRO No. 17

EDADES(dias)	3	7	28
FECHAS	20-02-89	24-02-89	17-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	7380	9135	10755
2	6615	9375	10650
3	7125	9075	11025
PROMEDIO	7040	9195	10810
RESISTENCIA(kg/cm ²)	273	356	419

GRAFICA No.4

RESISTENCIA vs BLAINE

CEMENTO + 10% DE CALIZA



BLAINE DEL CEMENTO CONSTANTE(3814cm²/gr)

ADICION DE CALIZA. Se adicionaron diferentes porcentos de caliza a un cemento de blaine igual a 3210 cm^2/gr , mientras que la caliza seleccionada tenia un blaine de 4955 cm^2/gr . Los porcentos de calizas adicionados fueron: 0, 5, 10, 15, 20, 25, y 30%; la muestra con 0% de caliza se consideró como patrón de referencia, que corresponde a un cemento Portland tipo I.

En efecto, cada una de las mezclas preparadas con los diferentes porcentajes de caliza fue comparada con la patrón, para los valores de resistencia a la compresión para las tres edades ya indicadas.

Los resultados obtenidos para cada adición, aparecen en los cuadros números 18, 19, 20, 21, 22, 23, y 24; éstos valores resultantes de la resistencia mecánica fueron graficados. La gráfica obtenida de la resistencia a la compresión en función del porcentaje de caliza añadida (gráfica No.5) suministra la información necesaria sobre el porcentaje óptimo de caliza.

Se debe resaltar, que estos valores obtenidos fueron el resultado de una adición de caliza a un cemento Portland tipo I; ambos materiales se obtuvieron por molienda separada. ¿Qué diferencia habría con una molienda conjunta?.

MOLIENDA CONJUNTA. Por molienda separada se encontró, que la adición óptima correspondía a un 10% de caliza, de blaine igual a 4955 cm^2/gr . Ahora se debe llegar a resultados similares para los valores de la resistencia a la compresión, utilizando la molienda conjunta.

Lo primero que se realizó es la determinación del blaine resultante de la mezcla seleccionada como óptima.

Para ello se preparó nuevamente la mezcla, procediéndose a calcular el blaine. Conociendo previamente la densidad de esta mezcla, se obtuvo el valor de su superficie específica, la cual resultó ser de 3390 cm²/gr. Con este valor, se procedió a buscar un blaine similar para la mezcla, la cual será preparada por molienda conjunta.

En la molienda conjunta se utilizaron 260 gr de yeso (5%), 520 gr de caliza (10%) y 4420 gr de clinker (85%); cada uno de estos materiales se preparó tal como se explicó en la parte correspondiente a las moliendas. El blaine resultante de esta molienda conjunta, a 950 revoluciones fue, de 3403 cm²/gr.

Para la realización de los cubos, se determinó la fluidez para la muestra patrón, y para la muestra preparada por molienda conjunta. El objetivo de esta determinación fue el de poder comparar los valores de las resistencias en ambas muestras, partiendo de una misma fluidez. Luego de esta determinación se hicieron los cubos, cuyos valores para las resistencias mecánicas aparecen tabulados en los cuadros números 25 y 26.

La nomenclatura utilizada para las muestras, en las gráficas No. 6 y 7 que aparecen en las páginas 108 y 110, son las siguientes:

Mol.C.Ctó + 10% Cal = Molienda conjunta cemento + 10% de caliza

Mol.S.Ctó + 10% Cal = Molienda separada cemento + 10% de caliza

Ctó tipo I = Cemento tipo I.

NUEVAS MOLIENDAS. Se siguió el mismo método de preparación que en los casos anteriores. Las materias primas yeso, caliza y clinker, son molidos a mayores revoluciones, con la finalidad de obtener un blaine más alto, que la muestra anterior.

El número de revoluciones fue de 1050, con lo que la muestra dió un blaine de 3759 cm^2/gr , valor éste que está por encima que lo obtenido anteriormente, cuyo valor fue 3403 cm^2/gr .

Nuevamente se determina la fluidez para esta muestra, obteniéndose 99% ; la relación de agua cemento para esta fluidez es de 0.50.

Se procedió a formar los morteros con los cuales fueron preparadas las muestras, para luego proceder al calculo de las resistencias a las diferentes edades. Los valores promedio de las resistencias aparecen en el cuadro No. 27, y en la gráfica No. 7.

En la gráfica No.8, se comparan las resistencias a la compresión con los blaines de la muestra del cemento patrón y las muestras con 10% de caliza.

CUADRO No.18

78

RESISTENCIA A LA COMPRESION			
CEMENTO + 0 % DE CALIZA. BLAINE DE LA CALIZA CONSTANTE. BLAINE DEL CEMENTO 3210 cm ² /gr.			
EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	16-01-89	20-01-89	10-02-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	5730	7830	8970
2	5835	7365	9375
3	5782	7693	9173
PROMEDIO	3872	7695	9173
RESISTENCIA (kg/cm ²)	224	298	355

CUADRO No.19

RESISTENCIA A LA COMPRESION			
CEMENTO + 5 % DE CALIZA. BLAINE DE LA CALIZA CONSTANTE. BLAINE DEL CEMENTO 3210 cm ² /gr.			
EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	3-03-89	7-03-89	28-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6225	7740	9465
2	6450	7830	9495
3	6375	7620	9510
PROMEDIO	6350	7730	9490
RESISTENCIA (kg/cm ²)	246	299	368

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10 % DE CALIZA
 BLAINE DE LA CALIZA CONSTANTE
 BLAINE DEL CEMENTO 3210 cm²/gr

79

CUADRO No.20

EDADES(dias)	3 ^a	7	28
FECHAS	3-04-89	7-04-89	28-04-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6570	7890	9300
2	-	7395	9285
3	6450	7643	9375
PROMEDIO	6510	7643	9320
RESISTENCIA(kg/cm ²)	252	296	361

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 15 % DE CALIZA
 BLAINE DE LA CALIZA CONSTANTE
 BLAINE DEL CEMENTO 3210 cm²/gr



D I N I S A
 D. R. F. S.

CUADRO No.21

EDADES(dias)	3	7	28
FECHAS	3-03-89	7-03-89	28-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	5760	6585	8805
2	5700	6915	8955
3	5250	6555	8100
PROMEDIO	5570	6685	8620
RESISTENCIA(kg/cm ²)	216	259	334

RESITENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 20 % DE CALIZA
BLAINE DE LA CALIZA CONSTANTE
BLAINE DEL CEMENTO 3210 cm²/gr

80

CUADRO No.22

EDADES(dias)	3	7	28
FECHAS	6-03-89	10-03-89	31-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	5145	6450	8475
2	5265	6690	-
3	5070	6720	8265
PROMEDIO	5160	6620	8310
RESISTENCIA(kg/cm ²)	200	256	324

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 25 % DE CALIZA
BLAINE DE LA CALIZA CONSTANTE
BLAINE DEL CEMENTO 3210 cm²/gr

CUADRO No.23

EDADES(dias)	3	7	28
FECHAS	6-03-89	10-03-89	31-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	5550	6240	7675
2	5130	6150	7905
3	5370	6240	8040
PROMEDIO	5350	6210	7940
RESISTENCIA(kg/cm ²)	207	241	308

RESISTENCIA A LA COMPRESION

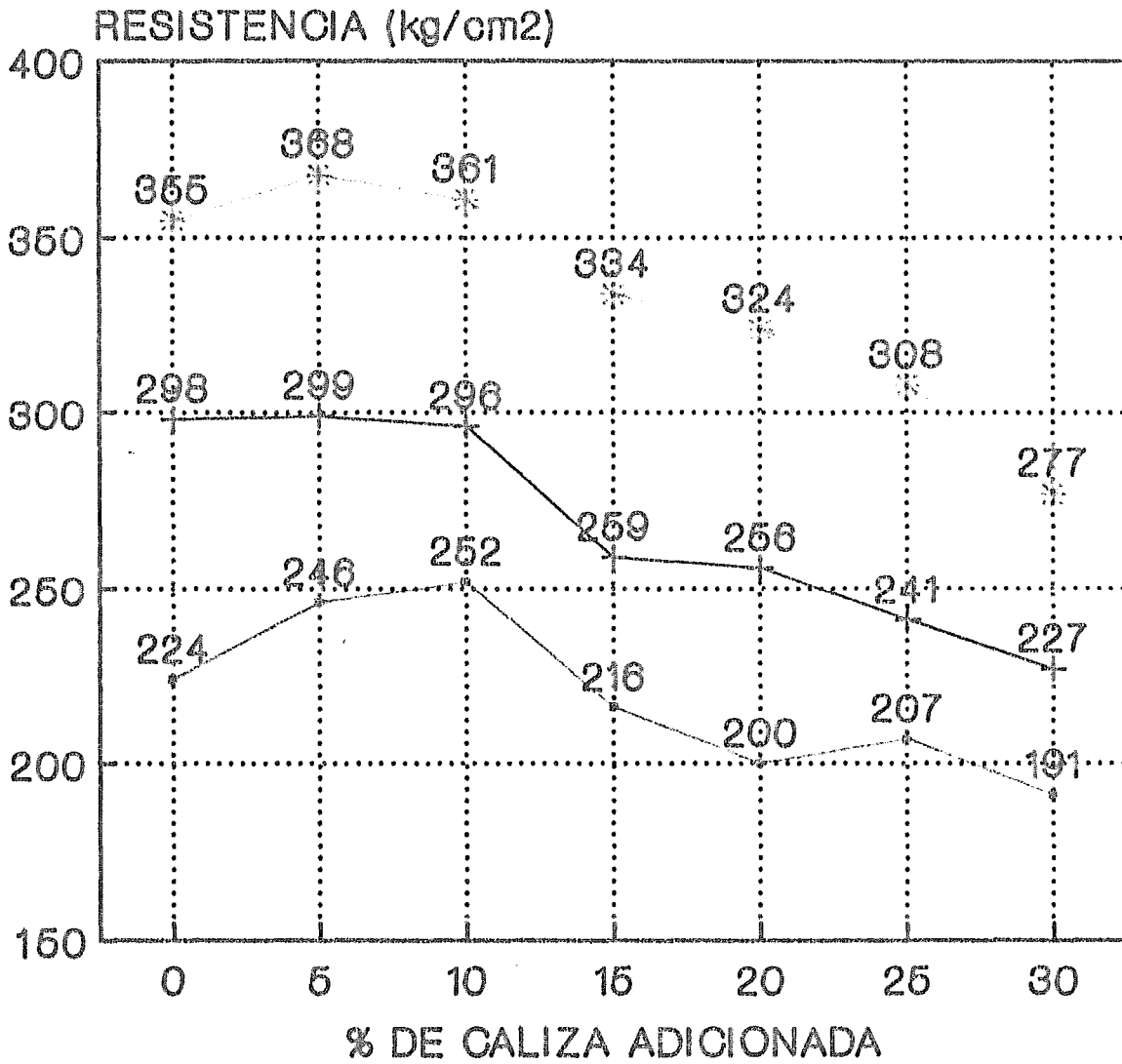
CEMENTO + 30 % DE CALIZA
 BLAINE DE LA CALIZA CONSTANTE
 BLAINE DEL CEMENTO 3210 cm²/gr

CUADRO No.24

EDADES(dias)	3	7	28
FECHAS	6-03-89	10-03-89	31-03-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	4815	5730	6945
2	5015	6195	7290
3	4935	5640	7245
PROMEDIO	4922	5855	7160
RESISTENCIA(kg/cm ²)	191	227	277

RESISTENCIA vs % CALIZA

ADICION DE CALIZA.



—+— RES A 3 DIAS —+— RES A 7 DIAS
 -*- RES A 28 DIAS

MOLIENDA CAL.Y CTO POR SEPARADO.

RESISTENCIA A LA COMPRESION

83

CEMENTO PORTLAND TIPO I
BLAINE DEL CEMENTO 3210 cm²/gr

REVOLUCIONES 1275.

CUADRO No.25

EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	12-05-89	16-05-89	6-06-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	5700	6870	8790
2	5850	7020	9150
3	5775	7275	9165
PROMEDIO	5775	7055	9035
RESISTENCIA(kg/cm ²)	224	273	350

RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10% DE CALIZA
MOLIENDA CONJUNTA (CLINKER + YESO + CALIZA)

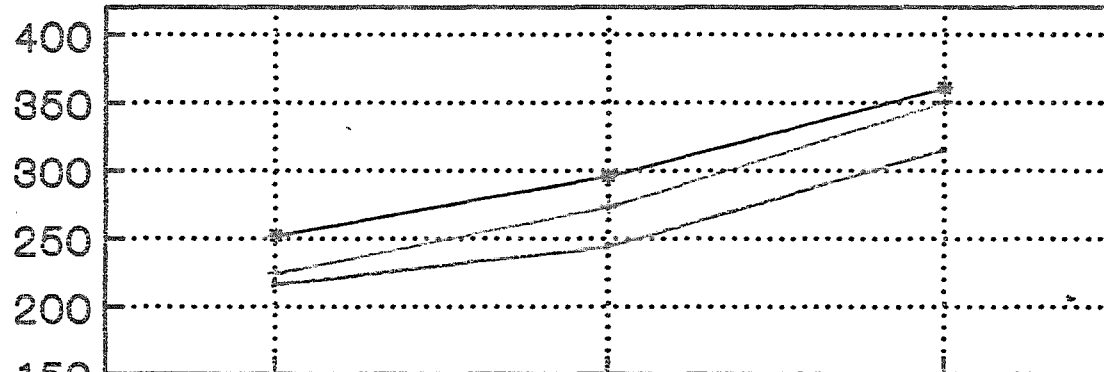
revoluciones950BLAINE DE LA MEZCLA 3403 cm²/gr

CUADRO No.26

EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	12-05-89	16-05-89	6-06-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	5700	6240	8250
2	5550	6450	8100
3	5490	6225	8025
PROMEDIO	5580	6305	8125
RESISTENCIA(kg/cm ²)	216	244	315

RESISTENCIA vs TIEMPO MOL.SEPARADA Y CONJUNTA.

RESISTENCIA(kg/cm²)



	3	7	28
MOL.C CTO+ 10% CAL	216	244	315
CTO TIPO I	224	273	350
MOL.S.CTO+ 10% CAL.	252	296	361

TIEMPO (dias)

—○— MOL.C CTO+ 10% CAL —□— CTO TIPO I
—△— MOL.S.CTO+ 10% CAL.

CTO TIPO I Y CTO +10 % CALIZA.

CUADRO No.27

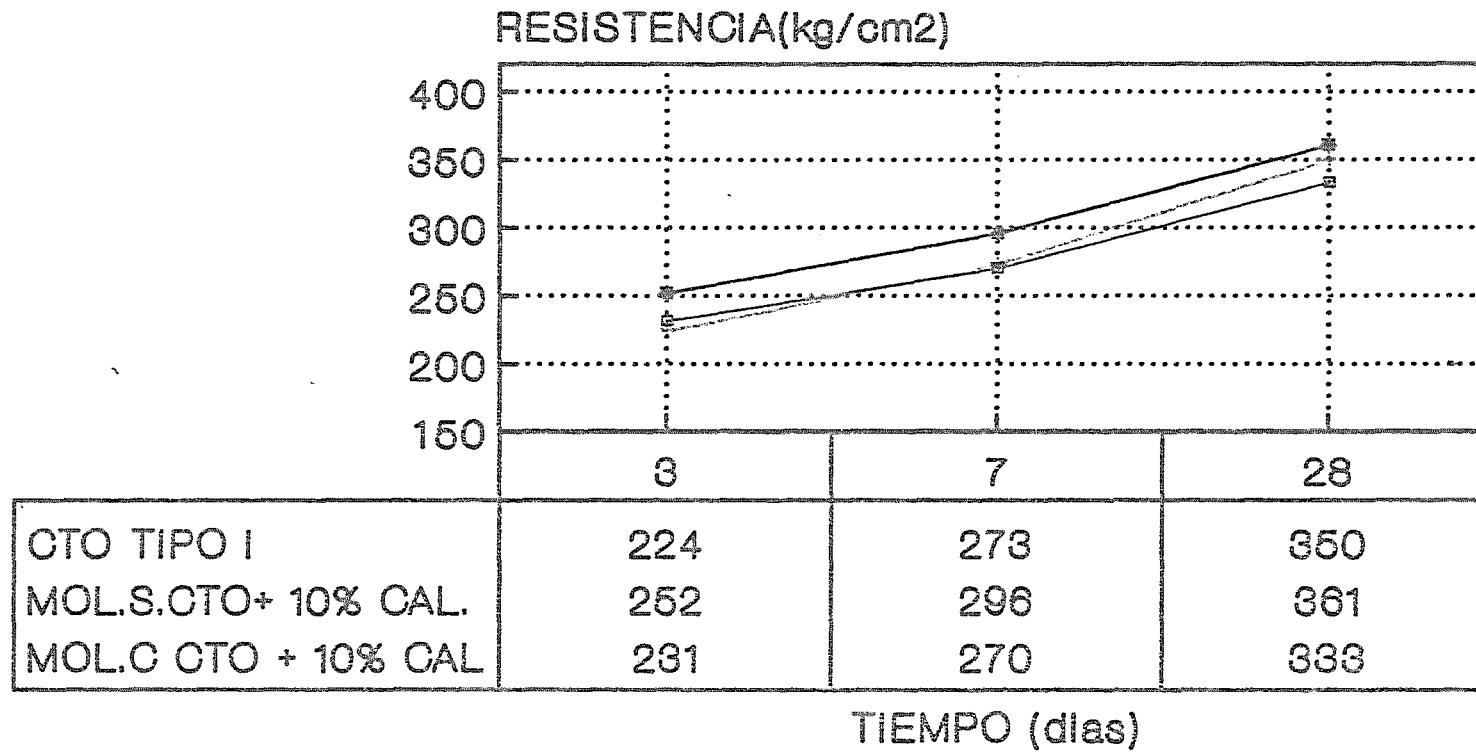
RESISTENCIA A LA COMPRESION

CEMENTO + 10 % DE CALIZA
MOLIENDA CONJUNTA(CLINKER + YESO + CALIZA)

revoluciones1050BLAINE DE LA MEZCLA 3759 cm²/gr

EDADES (dias)	3	7	28
FECHAS	2-07-89	6-07-89	27-07-89
PRUEBAS			
MUESTRAS	M-1	M-2	M-3
1	6030	6690	8600
2	6000	6915	8435
3	5850	7275	8745
PROMEDIO	5960	6960	8593
RESISTENCIA(kg/cm ²)	231	270	333

RESISTENCIA vs TIEMPO MOL.SEPARADA Y CONJUNTA.



—+— CTO TIPO I

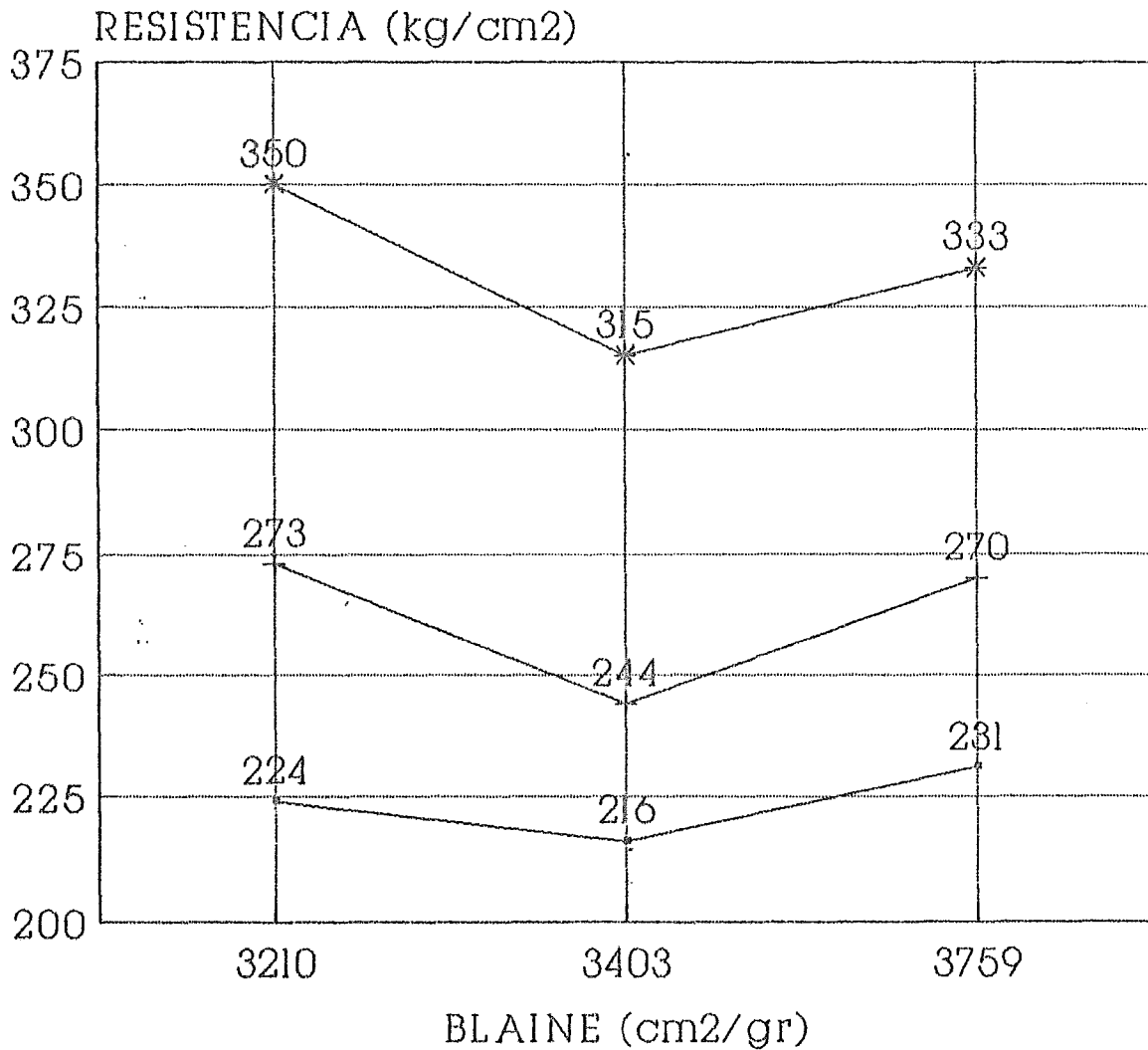
—*— MOL.S.CTO+ 10% CAL.

—□— MOL.C CTO + 10% CAL

CTO TIPO I Y CTO +10 % CALIZA.

GRAFICA No. 8

RESISTENCIA vs BLAINE CTO TIPO I Y CTO + 10% CAL.



—•— RES. 3 DIAS —+— RES. 7 DIAS. —*— RES. 28 DIAS.

BLAINE CTO TIPO I 3210 cm²/gr.
BLAINE CTO + CAL 3403 cm²/gr.
BLAINE CTO + CAL 3759 cm²/gr.

CEMENTO TIPO I Y CEMENTO + 10% DE CALIZA. La muestra de cemento Portland tipo I, cuyo blaine es de 3210 cm²/gr, fue analizada por vía húmeda y por fluorescencia cuantitativa de rayos-x. Los valores obtenidos por ambos métodos se compararon con los del cemento + 10% de caliza; es decir con la muestra seleccionada previamente cuyo blaine era de 3759 cm²/gr.

Las determinaciones de los compuestos potenciales** se realizó, utilizando las fórmulas de Bogue; los resultados dieron información sobre la composición mineralógica del cemento o del clinker. Las fórmulas de Bogue son:

$$\% C_3S = (4.071 \times \%CaO) - (7.600 \times \%SiO_2) - (6.718 \times \%Al_2O_3) - (1.430 \times \%Fe_2O_3) - (2.852 \times \%SO_3).$$

$$\% C_2S = (2.867 \times \%SiO_2) - (0.7544 \times \%C_3S)$$

$$\% C_3A = (2.650 \times \%Al_2O_3) - (1.692 \times \%Fe_2O_3)$$

$$\% C_4AF = (3.043 \times \%Fe_2O_3)$$

Los resultados de estas pruebas aparecen en los cuadros 28, 29 y 30. Se aprecia, además, para cada determinación su comparación con un rango característico que indica los límites, entre los cuales está esa determinación. Se puede decir que estos rangos son valores promedio característicos para el análisis por vía húmeda de un cemento Portland.

Para la muestra de cemento + 10% de caliza se utilizó el método de la fluorescencia cualitativa de los rayos-x. Los resultados aparecen en el cuadro No. 30.

** C₃S, C₂S, C₃A y C₄AF

CUADRO No.28
ANALISIS VIA HUMEDA

89

CEMENTO PORTLAND TIPO I.

BLAINE 3 210 cm²/gr

DETEMINACIONES	FORMULAS	PORCENTAJE (%)	RANGO (%)
OXIDO DE SILICIO	SiO ₂	20.44	18 - 24
OXIDO DE ALUMINIO	Al ₂ O ₃	6.51	3 - 6
OXIDO DE HIERRO(III)	Fe ₂ O ₃	3.28	1.5 - 6.5
OXIDO DE CALCIO(TOT.)	CaO	62.80	60 - 67
OXIDO DE MAGNESIO	MgO	1.20	< 6
ANHIDRIDO SULFURICO	SO ₃	3.01	1.5 - 4.0
RESIDUO INSOLUBLE	R. I.	0.24	< 0.75
PERDIDA POR IGNICION	P X I	1.01	< 3
OXIDO DE SODIO	Na ₂ O	0.76	0.1 - 1.0
OXIDO DE POTASIO	K ₂ O	0.59	0.1 - 1.5
TOTAL	-	99.87	-
CAL LIBRE	CaO	0.24	0.5 - 3

CALCULO DE BOGUE

COMPUESTOS POTENCIALES.

NOMBRES	ABREVIATURA	PORCENTAJE (%)	RANGO (%)
SILICATO TRICALCICO	C3S	56.97	-
SILICATO DICALCICO	C2S	15.62	-
ALUMINATO TRICALCICO	C3A	11.75	-
FERROALUMINATO TETRACALCICO	C4AF	9.98	-

ANALISIS FLUORESCENCIA CUANTITATIVA DE R-X

CEMENTO PORTLAND TIPO I.

BLAINE 3210 cm²/gr.

DETERMINACIONES	FORMULAS	PORCENTAJE(%)	RANGO (%)
OXIDO DE SILICIO	SiO ₂	20.43	18 - 24
OXIDO DE ALUMINIO	Al ₂ O ₃	5.89	3 - 6
OXIDO DE HIERRO(III)	Fe ₂ O ₃	3.40	1.5 - 6.5
OXIDO DE CALCIO(TOT.)	CaO	62.93	60 - 67
OXIDO DE MAGNESIO	MgO	1.46	< 6
ANHIDRIDO SULFURICO	SO ₃	3.09	1.5 - 4.0
RESIDUO INSOLUBLE	R. I.	-	< 0.75
PERDIDA POR IGNICION	P X I	1.0	< 3
OXIDO DE SODIO	Na ₂ O	0.58	0.1 - 1.0
OXIDO DE POTASIO	K ₂ O	0.54	0.1 - 1.5
OXIDO DE TITANIO(IV)	TiO ₂	0.27	0.2 - 0.4
OXIDO DE MANGANESO(VI)	Mn ₂ O ₃	0.06	< 0.5
OXIDO DE FOSFORO(V)	P ₂ O ₅	0.06	0.05 - 0.3
TOTAL	-	99.7	-
CAL LIBRE	CaO	0.20	0.5 - 3

CALCULO DE BOGUE

NOMBRE	ABREVIATURA	PORCENTAJE(%)	RANGO (%)
SILICATO TRICALCICO	C3S	44.5	-
SILICATO DICALCICO	C2S	25.0	-
ALUMINATO TETRACALCICO	C3A	10.7	-
FERROALUMINATO TETRACALCICO	C4AF	10.3	-

CUADRO No.30

ANALISIS FLUORESCENCIA CUANTITATIVA DE R-X

CEMENTO + 10 % DE CALIZA.

BLAINE CTO. 3210 cm²/gr.
BLAINE CALIZA 4955 cm/gr.

DETERMINACIONES	FORMULAS	PORCENTAJE (%)	RANGO (%) *
OXIDO DE SILICIO	SiO ₂	18.91	18 - 24
OXIDO DE ALUMINIO	Al ₂ O ₃	5.15	3 - 6
OXIDO DE HIERRO (III)	Fe ₂ O ₃	2.92	1.5 - 6.5
OXIDO DE CALCIO(TOT.)	CaO	62.03	60 - 67
OXIDO DE MAGNESIO	MgO	1.23	< 6
ANHIDRIDO SULFURICO	SO ₃	3.07	1.5 - 4.0
OXIDO DE TITANIO(IV)	TiO ₂	0.23	0.2 - 0.4
OXIDO DE FOSFORO(V)	P ₂ O ₅	0.05	0.05 - 0.3
PERDIDA POR IGNICION	PxI	5.10	< 3
OXIDO DE SODIO	Na ₂ O	0.55	0.1 - 1.0
OXIDO DE POTASIO	K ₂ O	0.48	0.1 - 1.5
TOTAL	-	99.80	-
CAL LIBRE	CaO	0.20	0.5 - 3.0

* RANGOS CARACTERISTICOS DEL CTO. PORTLAND TIPO I.

PRUEBAS FISICAS. Las pruebas físicas que exigen las normas nacionales e internacionales, son las siguientes:

1. Consistencia Normal
2. Prueba de Sanidad
3. Tiempo de Fraguado
4. Falso Fraguado
5. Permeabilidad al Aire o Blaine
6. Densidad
7. Malla Número 200
8. Malla Número 325
9. Fluidez
10. Relación Agua/Cemento

El tiempo de fraguado se determinó por medio de la aguja de Vicat. Siendo el fraguado inicial, el tiempo en que la aguja de Vicat produce una penetración promedio igual o menor de 25mm sobre la pasta de cemento; mientras que el fraguado final es obtenido de la resta del tiempo en que la aguja de Vicat no produce, ninguna marca en la superficie de la pasta.

Otra variable muy importante para los usuarios del cemento es el falso fraguado. Solamente habrá falso fraguado prematuro cuando el porcentaje de penetración ($* P_r/P_i$) de la barra de Vicat sea menor al 50% (ver los cuadros 31 y 32).

Por interpolación, a una penetración de 25mm, se logra calcular un tiempo de fraguado inicial exacto (ver los cuadros número 33 y 34 y la gráficas número 9 y 10).

* Pf = Penetración final.
Pi = Penetración inicial.

CUADRO No.31

PRUEBAS FISICAS

CEMENTO PORTLAND TIPO I.

DETERMINACIONES	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
CONSISTENCIA NORMAL	% DE H ₂ O	24.4
SANIDAD	% DE EXPANSION	0.040
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL	INICIAL. h: m.	2:20
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL	FINAL. h: m.	4:30
FALSO FRAGUADO	% DE PENETRACION	84.4
SUPERFICIE ESPECIFICA	BLAINE (cm ² /gr)	3,219
DENSIDAD	gr/ml	3.1250
MALLA 200	% DE FINURA	99.42
MALLA 325	% DE FINURA	87.37
FLUIDEZ	%	96.0
RELACION AGUA-CEMENTO	A/C	0.485 *

* RELACION DE AGUA-CEMENTO(A/C),CONSTANTE.

CUADRO No. 32

PRUEBAS FISICAS

CEMENTO + 10 % DE CALIZA

DETERMINACIONES	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
CONSISTENCIA NORMAL	% DE H ₂ O	25.0
SANIDAD	% DE EXPANSION	0.029
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL	INICIAL. h: m.	2:35
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL	FINAL. h: m.	4:55
FALSO FRAGUADO	% DE PENETRACION	65.0
SUPERFICIE ESPECIFICA	BLAINE (cm ² /gr)	3,403
DENSIDAD	gr/ml	3.0612
MALLA 200	% DE FINURA	99.5
MALLA 325	% DE FINURA	91.4
FLUIDEZ	%	98.0
RELACION AGUA-CEMENTO	A/C	0.49

TIEMPO DE FRAGUADO

 INICIAL-FINAL

CEMENTO PORTLAND TIPO I.

BLAINE-3210 cm²/gr.

TIEMPO (hrs)	PENETRACION (mm)
14.00	40
15.25	40
15.70	39
16.12	35
16.25	33
16.33	15 *
18.50	0 **

TIEMPO DE FRAGUADO

 INICIAL-FINAL
 MOLIENDA CONJUNTA

CEMENTO+10 % DE CALIZA.

BLAINE DE LA MEZCLA 3403 cm²/gr.

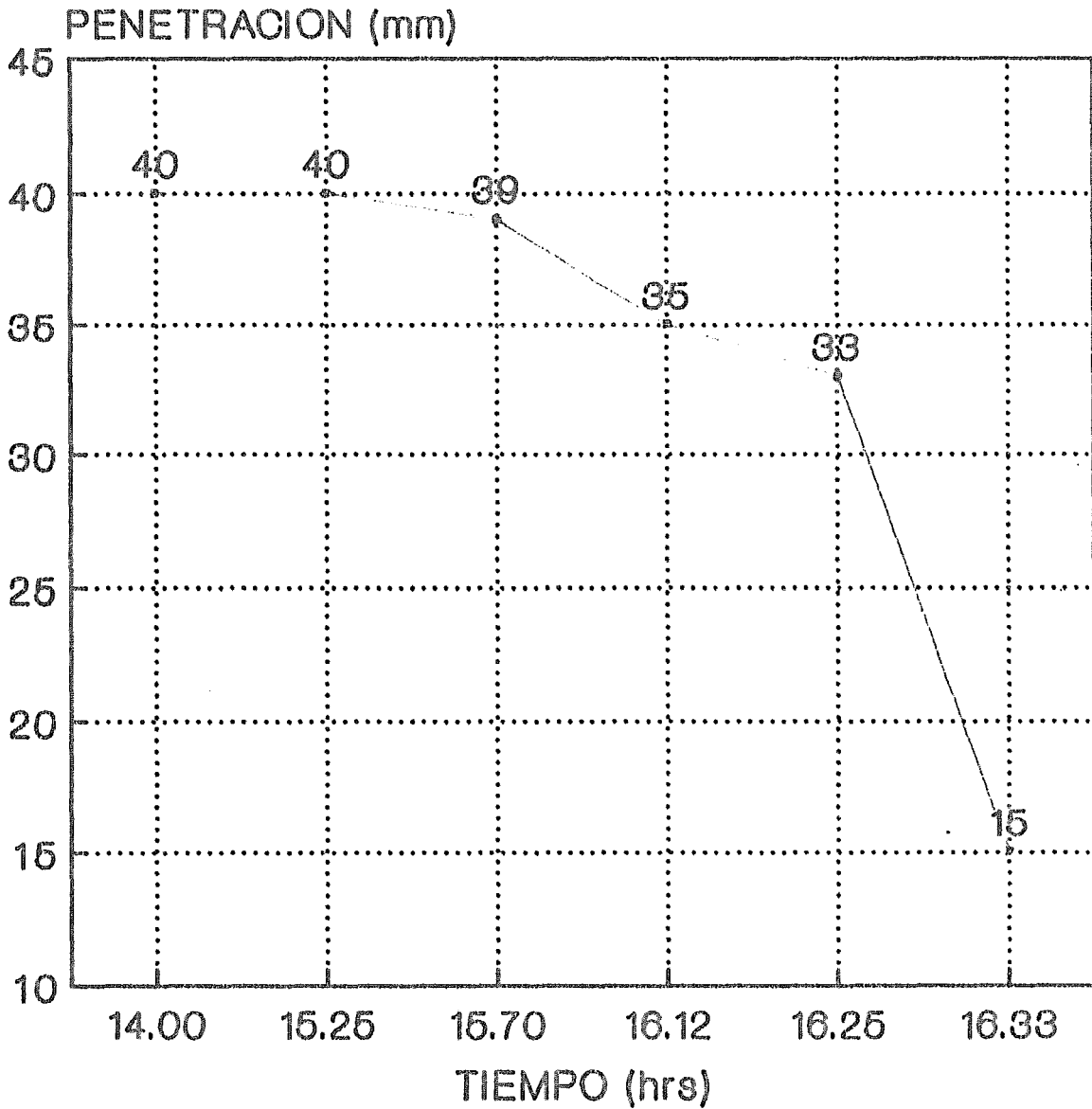
CUADRO No.34

TIEMPO (hrs)	PENETRACION (mm)
11.58	40
12.50	40
12.77	39
13.47	38
13.95	35
14.17	17 *
16.50	0 **

* FRAGUADO INICIAL.

** FRAGUADO FINAL.

PENETRACION vs TIEMPO CEMENTO PORTLAND TIPO I

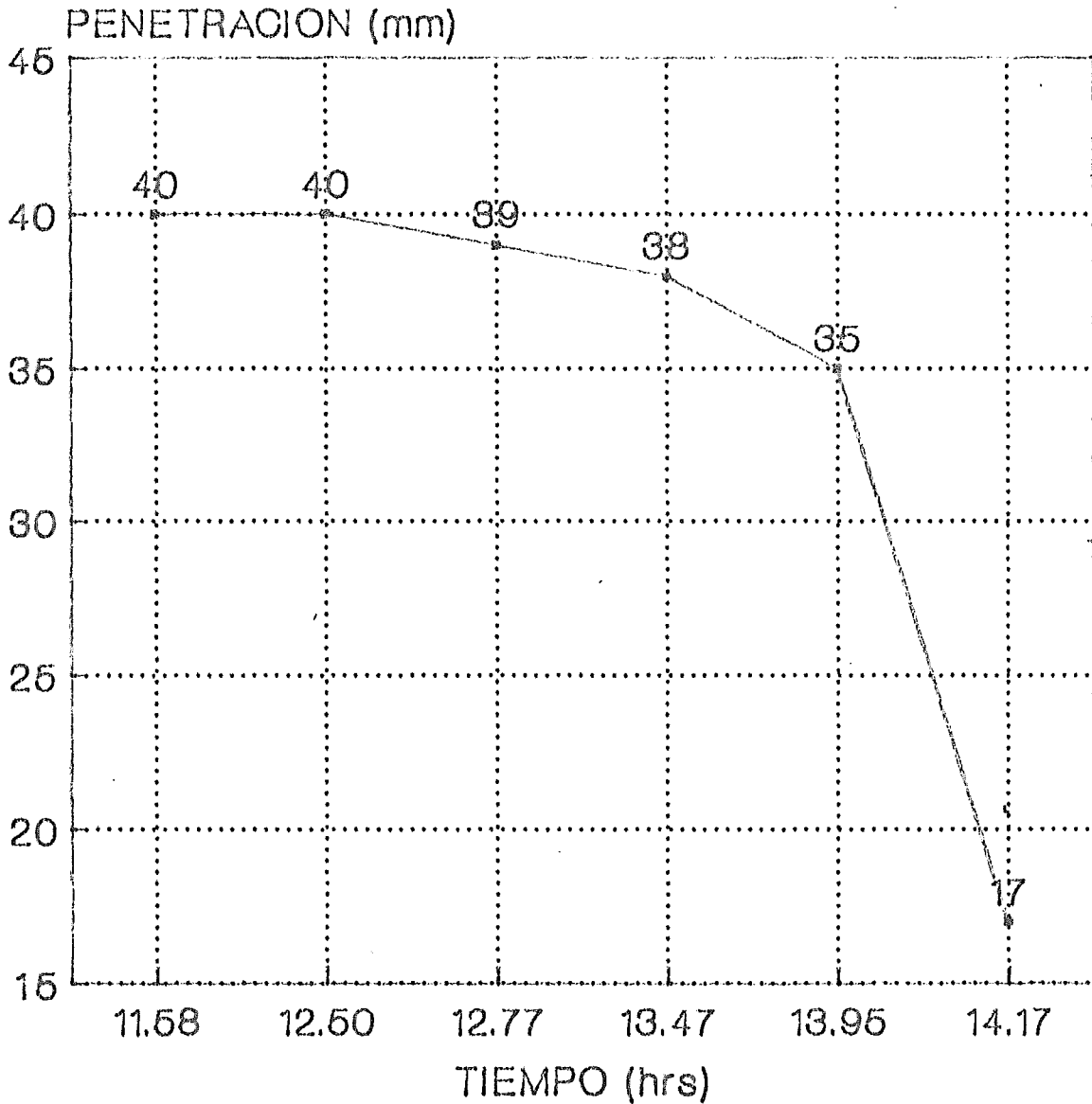


—•— PENETRACION (mm)

FRAGUADO INICIAL.

PENETRACION vs TIEMPO

CEMENTO +10 % CALIZA.



—■— PENETRACION (mm)

FRAGUADO INICIAL.

DIFRACCION DE RAYOS-X. La difracción de rayos-x* (DRX) fue utilizada como una técnica auxiliar en las muestras de cementos anhidros hidratados, y cementos hidratados + 10% de caliza.

Se investigó la posible actividad química de la caliza, en pasta de cemento, y en morteros. Además se intentaron determinar los efectos de la caliza en compañía de un árido (arena) al formar el mortero o el concreto.

Por lo tanto, el análisis de DRX se realizó sobre diferentes muestras hidratadas de cemento Portland tipo I (patrón) y de cementos Portland con adición de caliza (10%). Estos análisis fueron realizados a diferentes tiempos de hidratación, de 3 y 28 días. Las muestras preparadas fueron seis, y se detallan a continuación:

1. Caliza
2. Cemento Portland "puro" o tipo I, anhidro
3. Mortero de cemento tipo I, 3 días de hidratación
4. Mortero de cemento + 10% de caliza, 3 días de hidratación
5. Pasta de cemento Portland tipo I, 28 días de hidratación
6. Mortero de cemento + 10% de caliza, 28 días de hidratación

1. DRX. CALIZA. La caliza utilizada en las adiciones fue analizada por difracción de rayos-x ; este análisis tuvo por objetivo conocer la calidad de la caliza. La muestra seleccionada fue la de 4955 cm²/gr de Blaine (Ver difractograma No. 1).

2. DRX. CEMENTO PORTLAND TIPO I (ANHIDRO). Se realizó un análisis de una muestra de cemento Portland tipo I anhidro,

* Siemens, Kristalloflex 810.

con la finalidad de conocer o ubicar sus componentes; estos servirían como una guía o patrón de comparación para las muestras hidratadas de cemento y del cemento con adición (10%) de caliza (Ver difractograma No. 2).

3. DRX. CEMENTO TIPO I (3 DIAS DE HIDRATAACION). La muestra de cemento anhidro, fue hidratada durante 3 días para conocer sus componentes (Ver difractograma No. 3).

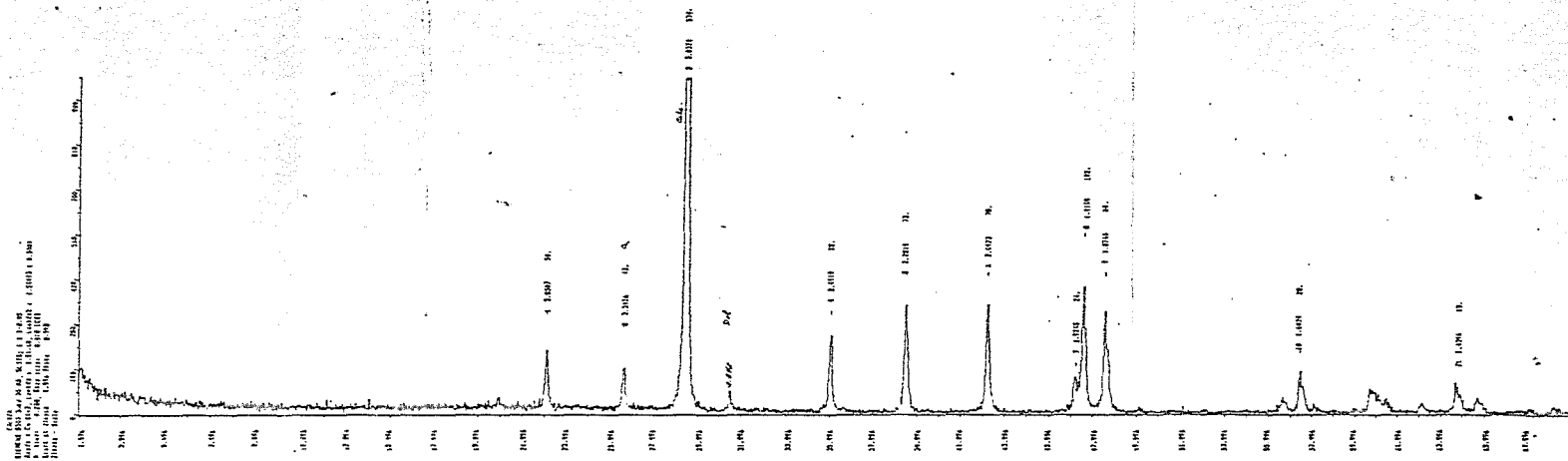
4. DRX. CEMENTO + 10% CALIZA (3 DIAS DE HIDRATAACION). La realización del análisis de DRX para la muestra de cemento hidratado durante tres días sirvió de base en el estudio de una muestra de cemento con 10% de caliza, (Ver difractograma No.4).

5. DRX. CEMENTO PORTLAND TIPO I (28 DIAS DE HIDRATAACION): Conocidos los productos de hidratación del cemento tipo I a 3 días, se aumentó el tiempo de hidratación a 28 días en otra muestra de cemento tipo I y en una de cemento + 10% de caliza (Ver difractograma No.5).

6. DRX. CEMENTO + 10% DE CALIZA (28 DIAS DE HIDRATAACION). Se partió de una muestra de cemento + 10% de caliza, utilizada previamente para la determinación del fraguado final. Su preparación siguió el mismo procedimiento que la muestra de cemento sin caliza (Ver difractograma No.6).

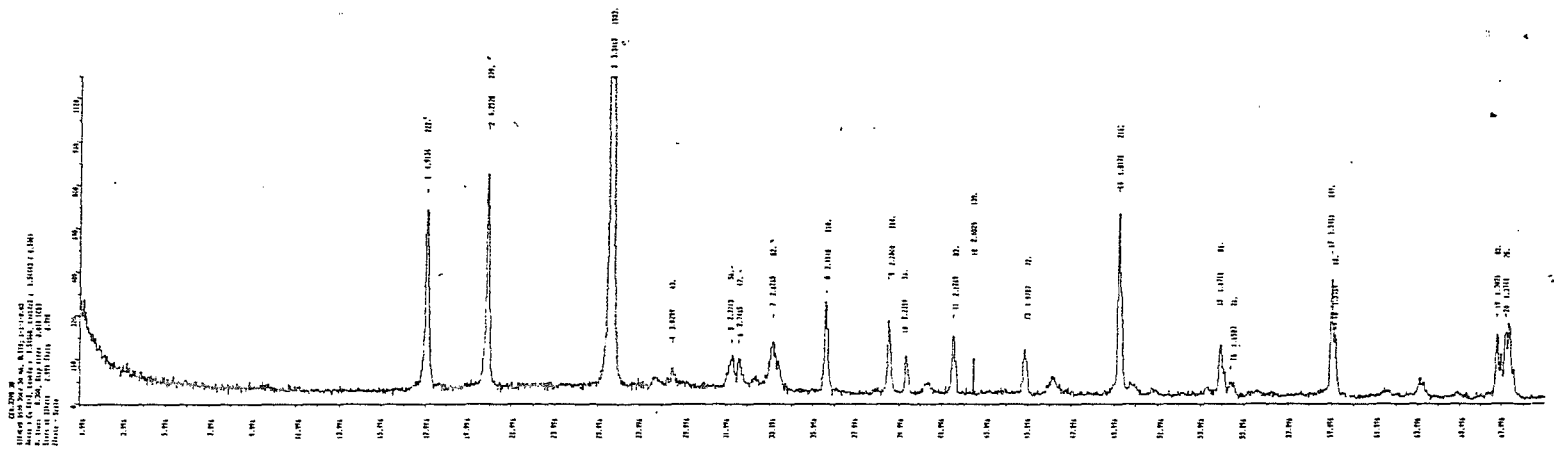
Finalmente se comparan los difractogramas a 3 y 28 días de hidratación de las muestras patrón y cemento + 10% de caliza (Ver difractogramas No. 7 y 8).

DIFRACTOGRAMA No. 1



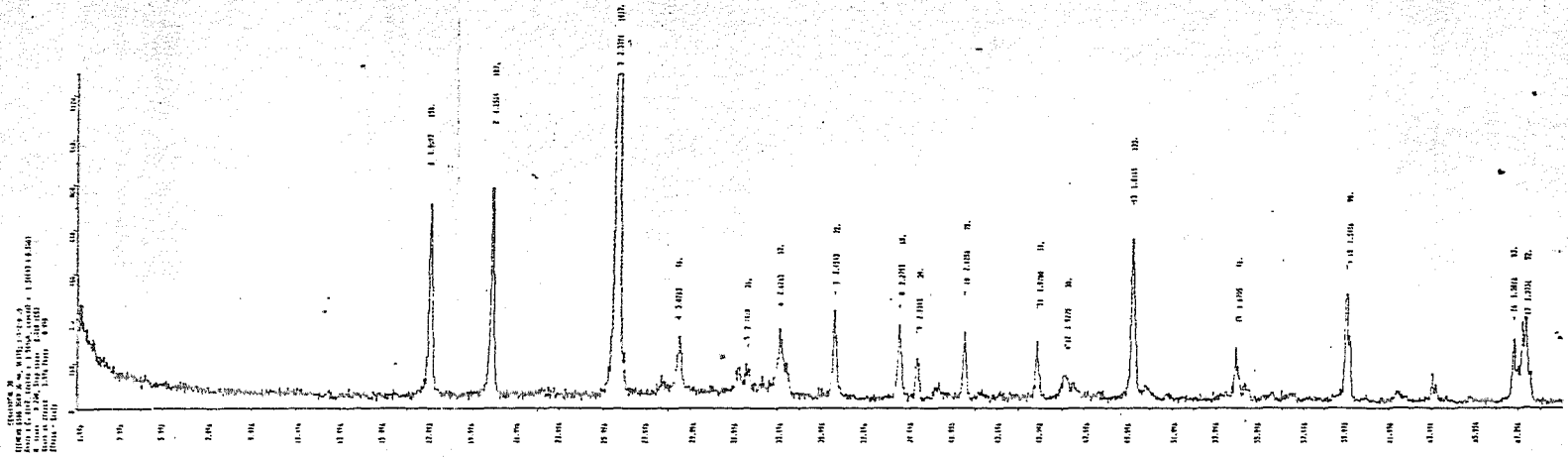
h	k	l	d (Å)	F ₀ ²	hkl
1	0	0	11.5	1	100
0	1	0	13.5	1	010
0	0	1	18.5	1	001
1	1	0	20.5	4	110
1	0	1	22.5	1	101
0	1	1	24.5	1	011
1	1	1	26.5	8	111
2	0	0	28.5	4	200
1	2	0	31.5	4	120
1	0	2	33.5	4	102
2	1	0	35.5	16	210
2	0	1	37.5	4	201
1	1	1	39.5	16	112
1	0	2	41.5	4	102
0	2	1	43.5	4	021
2	1	1	45.5	16	212
2	0	2	47.5	16	202
1	2	1	49.5	16	122
1	0	2	51.5	4	102
0	2	2	53.5	4	022
2	1	2	55.5	16	212
2	0	2	57.5	16	202
1	2	2	59.5	16	122
1	0	2	61.5	4	102
0	2	2	63.5	4	022
2	1	2	65.5	16	212
2	0	2	67.5	16	202
1	2	2	69.5	16	122
1	0	2	71.5	4	102
0	2	2	73.5	4	022
2	1	2	75.5	16	212
2	0	2	77.5	16	202
1	2	2	79.5	16	122
1	0	2	81.5	4	102
0	2	2	83.5	4	022
2	1	2	85.5	16	212
2	0	2	87.5	16	202
1	2	2	89.5	16	122
1	0	2	91.5	4	102
0	2	2	91.5	4	022

DIFRACTOGRAMA No 3

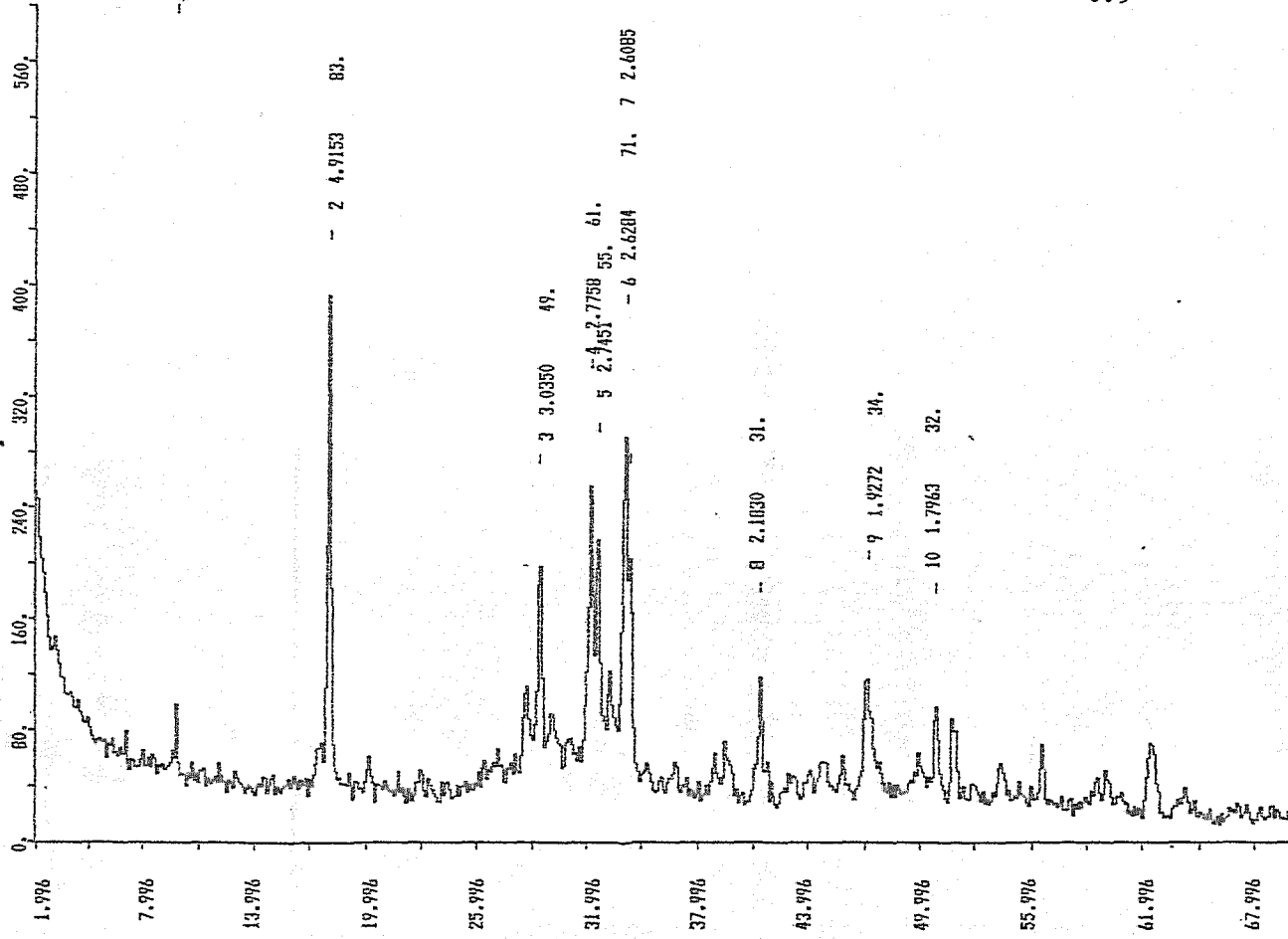


h	k	l	F ²	h	k	l	F ²
0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	2	4	0	0	2	4
0	0	3	9	0	0	3	9
0	0	4	16	0	0	4	16
0	0	5	25	0	0	5	25
0	0	6	36	0	0	6	36
0	0	7	49	0	0	7	49
0	0	8	64	0	0	8	64
0	0	9	81	0	0	9	81
0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	1	2	0	1	1	2
0	1	2	4	0	1	2	4
0	1	3	9	0	1	3	9
0	1	4	16	0	1	4	16
0	1	5	25	0	1	5	25
0	1	6	36	0	1	6	36
0	1	7	49	0	1	7	49
0	1	8	64	0	1	8	64
0	1	9	81	0	1	9	81
0	2	0	4	0	2	0	4
0	2	1	5	0	2	1	5
0	2	2	8	0	2	2	8
0	2	3	13	0	2	3	13
0	2	4	20	0	2	4	20
0	2	5	29	0	2	5	29
0	2	6	40	0	2	6	40
0	2	7	53	0	2	7	53
0	2	8	68	0	2	8	68
0	2	9	85	0	2	9	85
0	3	0	9	0	3	0	9
0	3	1	10	0	3	1	10
0	3	2	16	0	3	2	16
0	3	3	25	0	3	3	25
0	3	4	36	0	3	4	36
0	3	5	49	0	3	5	49
0	3	6	64	0	3	6	64
0	3	7	81	0	3	7	81
0	3	8	100	0	3	8	100
0	3	9	121	0	3	9	121
1	0	0	1	1	0	0	1
1	1	0	2	1	1	0	2
1	1	1	4	1	1	1	4
1	1	2	8	1	1	2	8
1	1	3	13	1	1	3	13
1	1	4	20	1	1	4	20
1	1	5	29	1	1	5	29
1	1	6	40	1	1	6	40
1	1	7	53	1	1	7	53
1	1	8	68	1	1	8	68
1	1	9	85	1	1	9	85
1	2	0	5	1	2	0	5
1	2	1	6	1	2	1	6
1	2	2	12	1	2	2	12
1	2	3	21	1	2	3	21
1	2	4	32	1	2	4	32
1	2	5	45	1	2	5	45
1	2	6	60	1	2	6	60
1	2	7	77	1	2	7	77
1	2	8	96	1	2	8	96
1	2	9	117	1	2	9	117
1	3	0	16	1	3	0	16
1	3	1	17	1	3	1	17
1	3	2	32	1	3	2	32
1	3	3	45	1	3	3	45
1	3	4	60	1	3	4	60
1	3	5	77	1	3	5	77
1	3	6	96	1	3	6	96
1	3	7	117	1	3	7	117
1	3	8	140	1	3	8	140
1	3	9	165	1	3	9	165
1	4	0	25	1	4	0	25
1	4	1	26	1	4	1	26
1	4	2	52	1	4	2	52
1	4	3	73	1	4	3	73
1	4	4	96	1	4	4	96
1	4	5	121	1	4	5	121
1	4	6	148	1	4	6	148
1	4	7	177	1	4	7	177
1	4	8	208	1	4	8	208
1	4	9	241	1	4	9	241
1	5	0	36	1	5	0	36
1	5	1	37	1	5	1	37
1	5	2	74	1	5	2	74
1	5	3	105	1	5	3	105
1	5	4	140	1	5	4	140
1	5	5	179	1	5	5	179
1	5	6	222	1	5	6	222
1	5	7	269	1	5	7	269
1	5	8	320	1	5	8	320
1	5	9	375	1	5	9	375
1	6	0	49	1	6	0	49
1	6	1	50	1	6	1	50
1	6	2	100	1	6	2	100
1	6	3	145	1	6	3	145
1	6	4	194	1	6	4	194
1	6	5	247	1	6	5	247
1	6	6	304	1	6	6	304
1	6	7	365	1	6	7	365
1	6	8	430	1	6	8	430
1	6	9	500	1	6	9	500
1	7	0	64	1	7	0	64
1	7	1	65	1	7	1	65
1	7	2	130	1	7	2	130
1	7	3	185	1	7	3	185
1	7	4	244	1	7	4	244
1	7	5	307	1	7	5	307
1	7	6	374	1	7	6	374
1	7	7	445	1	7	7	445
1	7	8	520	1	7	8	520
1	7	9	600	1	7	9	600
1	8	0	81	1	8	0	81
1	8	1	82	1	8	1	82
1	8	2	164	1	8	2	164
1	8	3	233	1	8	3	233
1	8	4	306	1	8	4	306
1	8	5	384	1	8	5	384
1	8	6	467	1	8	6	467
1	8	7	555	1	8	7	555
1	8	8	648	1	8	8	648
1	8	9	746	1	8	9	746
1	9	0	100	1	9	0	100
1	9	1	101	1	9	1	101
1	9	2	202	1	9	2	202
1	9	3	285	1	9	3	285
1	9	4	372	1	9	4	372
1	9	5	464	1	9	5	464
1	9	6	561	1	9	6	561
1	9	7	663	1	9	7	663
1	9	8	770	1	9	8	770
1	9	9	883	1	9	9	883

DIFRACTOGRAMA No4



CEMENTO HIDRATADO 28 DIAS
 SIEMENS D500 30KV 30 MA, SLITS; 1-1-1-0.05
 Anodo : Cu K α 2, Lambda : 1.54060, Lambda2 : 1.54443 (0.500)
 H. time: 0.200, Step size: 0.010 (CS)
 Start at 2Theta 1.996 Theta 0.998
 2Theta - Scale



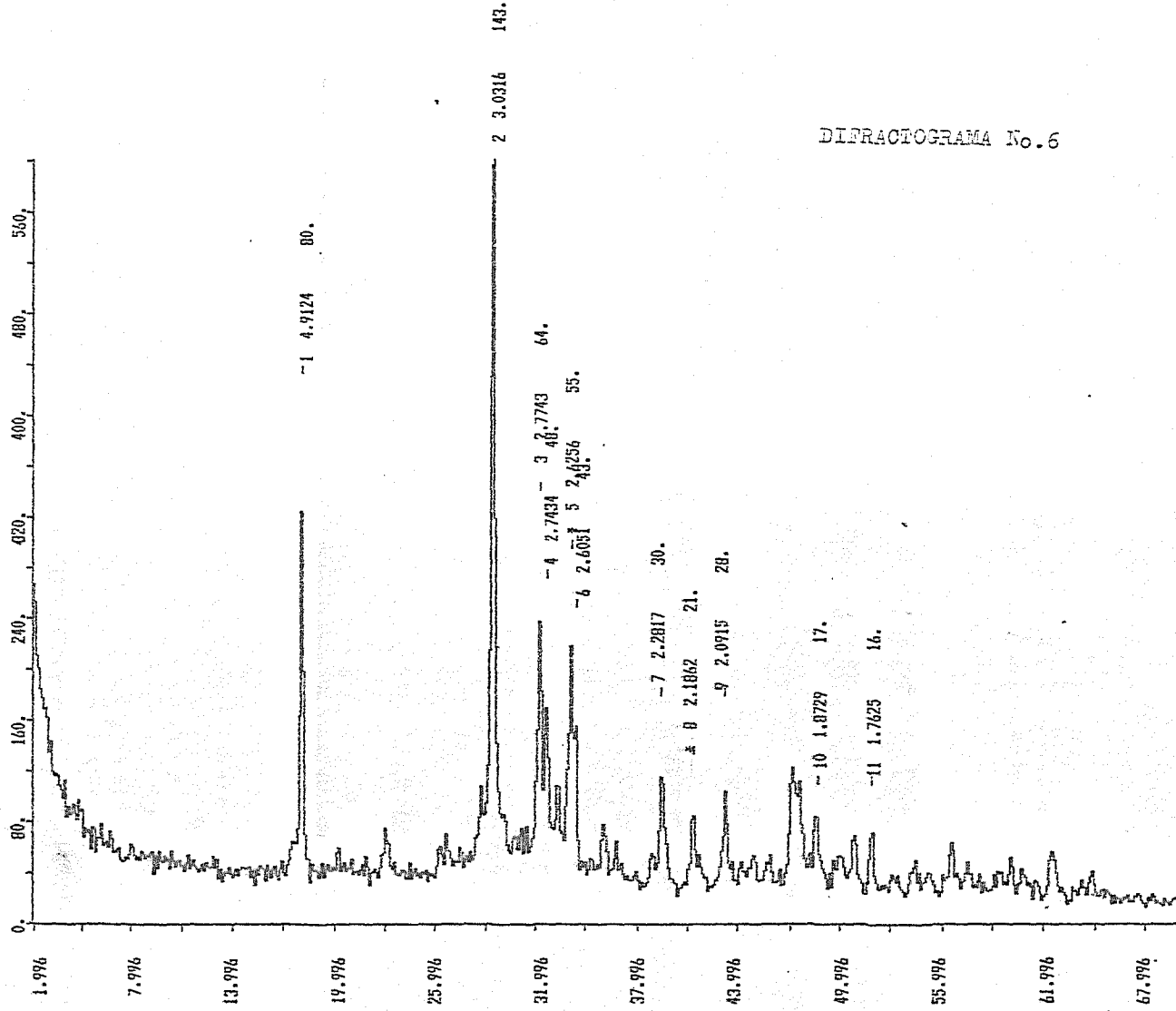
1 9.0264 118.

DIFRACTOGRAMA No.5

#	POSITION	d/Å	HEIGHT % H.P.
1	9.791	9.0264	118.
2	18.033	4.9153	83.
3	29.406	3.0350	49.
4	32.223	2.7750	61.
5	32.593	2.7451	55.
6	34.084	2.6284	71.
7	34.351	2.6085	48.
8	41.324	2.1830	31.
9	47.119	1.9272	34.
10	50.786	1.7963	32.

CMD

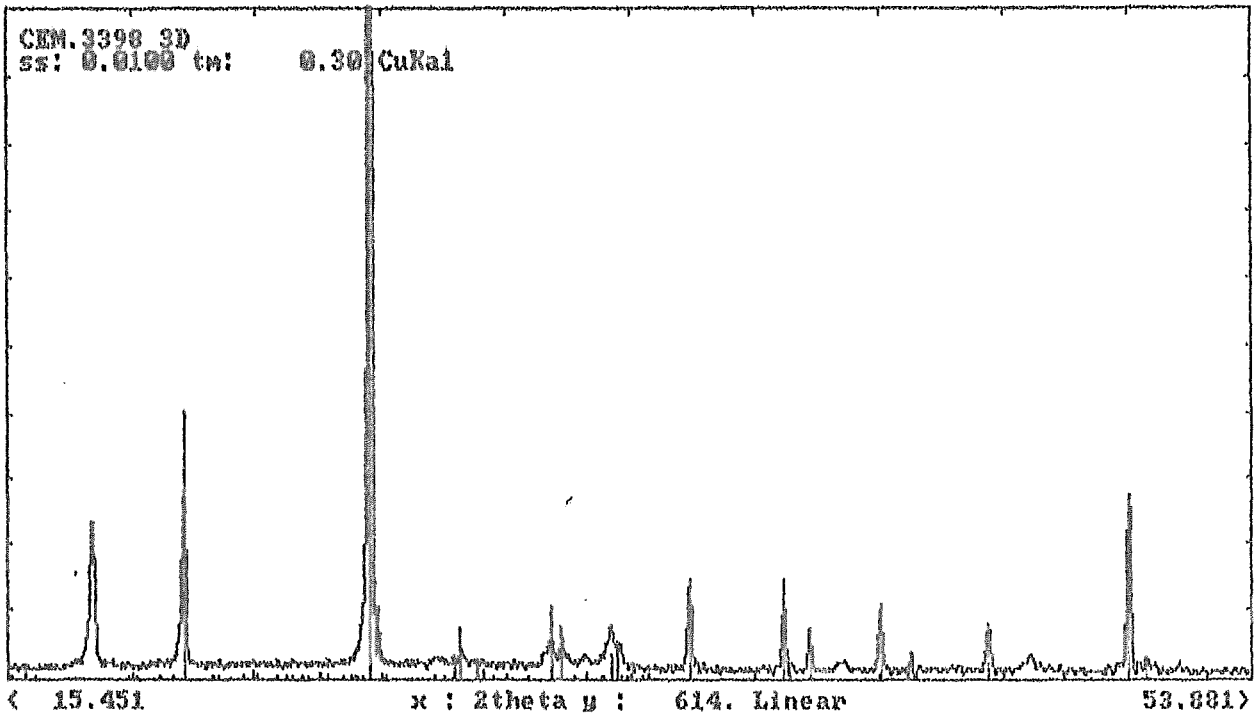
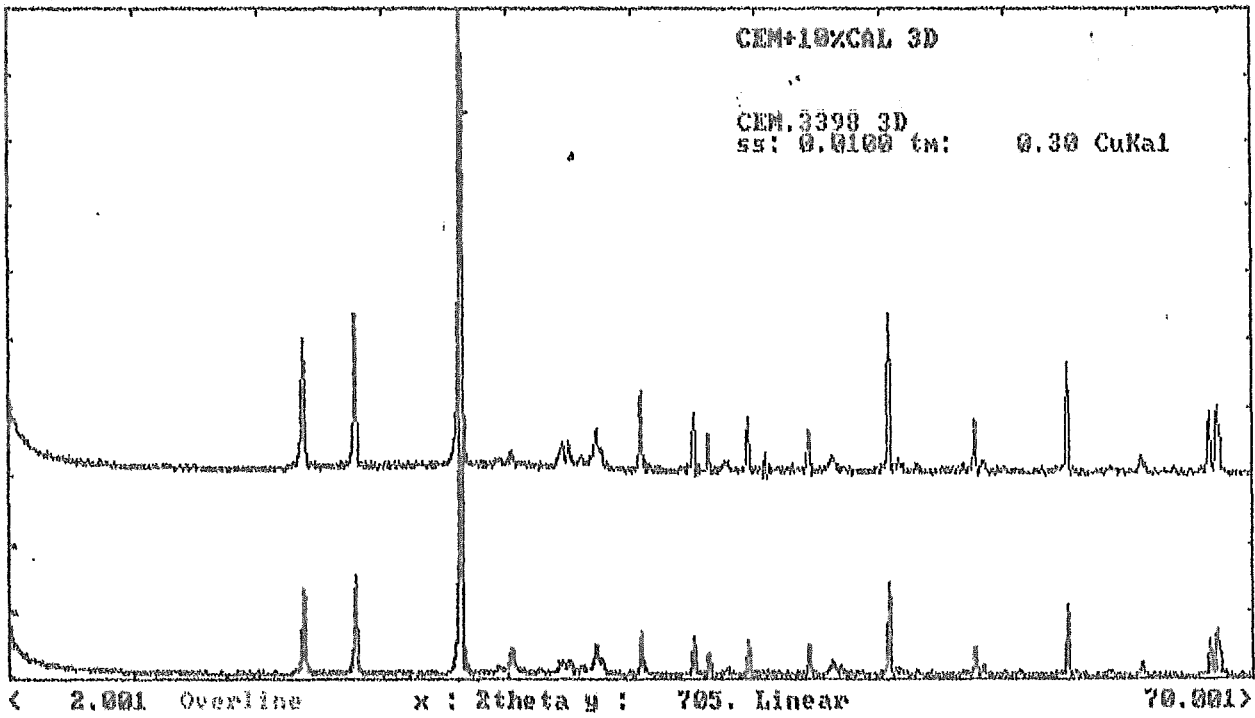
CEMENTO+LOXCALIZA HIDRAT, 28 DI
 SIEMENS 50KV 30 MA, SLITS; 1-1-1-0.05
 Anodo : Cu K142, Lambda : 1.54060, Lambda2 : 1.54443 (0.500)
 H. time: 0.200, Step size: 0.010 [CS]
 Start at 2theta 1.996 Theta 0.998
 2theta - Scale



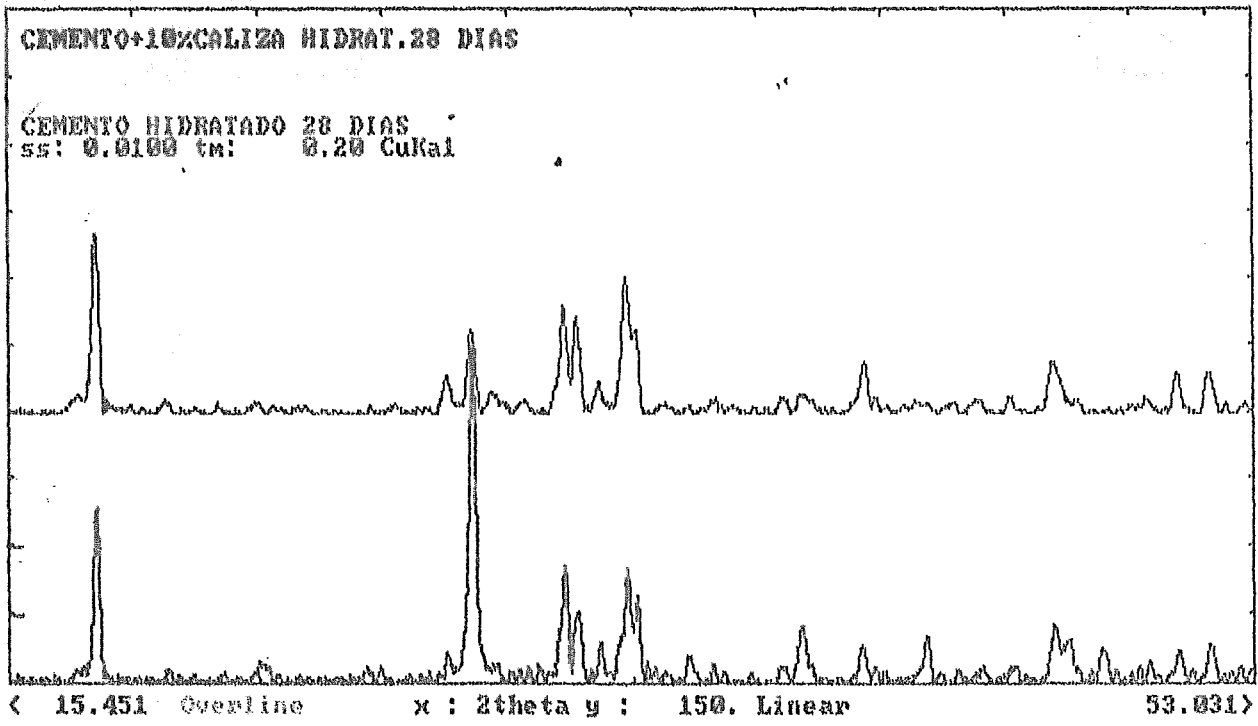
DIFFRACTOGRAMA No.6

#	POSITION	d/Å	HEIGHT	% H.P.
1	18.043	4.9124	80.	55.9
2	29.439	3.0316	143.	100.0
3	32.240	2.7743	64.	44.8
4	32.614	2.7434	40.	33.6
5	34.121	2.6256	55.	38.5
6	34.397	2.6081	43.	30.1
7	39.461	2.2817	30.	21.0
8	41.261	2.1862	21.	14.7
9	43.222	2.0915	28.	19.6
10	48.571	1.8729	17.	11.9
11	51.832	1.7625	16.	11.2

SOL7
 CHD



33-1161 * SiO2 QUARTZ, LOW
17-0445 D CaSi105 CALCIUM SILICATE



MICROSCOPIA OPTICA. Los estudios de microscopia óptica* se hicieron al clinker del cemento Portland, a la caliza, y a una muestra hidratada de cemento con 10% de caliza.

Con este método, se pudo estudiar de una manera cualitativa la composición del clinker, para observar sus fases principales, además del tamaño de los cristales. También se pudo conocer el grado de homogeneización de la muestra al ser calcinada.

Se determinó si, en la muestra hidratada, aparecía la calcita; con esto se pudo conocer la verdadera actividad química de la calcita.

PREPARACION DE MUESTRAS. Clinker. Las muestras de clinker fueron preparadas por la técnica de secciones pulidas o delgadas, embutiendo la muestra en resina. Para estas muestras se partió de trozos homogéneos de clinker; luego de que las muestras embutidas en la resina (resina-endurecedor, en relación de 2:1), se secaron se procedió al corte y pulimiento.

Los agentes atacantes utilizados fueron nital y vapores de ácido fluorhídrico concentrado (HF) (Ver figuras 1 y 2).

Caliza. El análisis de la caliza se realizó por medio de luz polarizada transmitida, debido al caso ya conocido de la birefringencia de la calcita. Por consiguiente, la determinación debió realizarse sobre granos cuyo tamaño fuese mayor de 125 μM ; para esto se tomaron 20gr. de una muestra homogénea de caliza, cuyo blaine era de 4955 cm^2/gr se humedecieron e hicieron pasar a presión de agua a través de una malla de 125 μM . El residuo obtenido se secó y una

* Leitz. Modelo Ortholux II POL-BK

pequeña porción, se utilizó para la microscopía por luz transmitida.

A una pequeña porción de la muestra secada le fueron adicionadas algunas gotas de aceite de emersión, cuyo índice de refracción era de 1.545 (Ver figura 3,4 y 5).

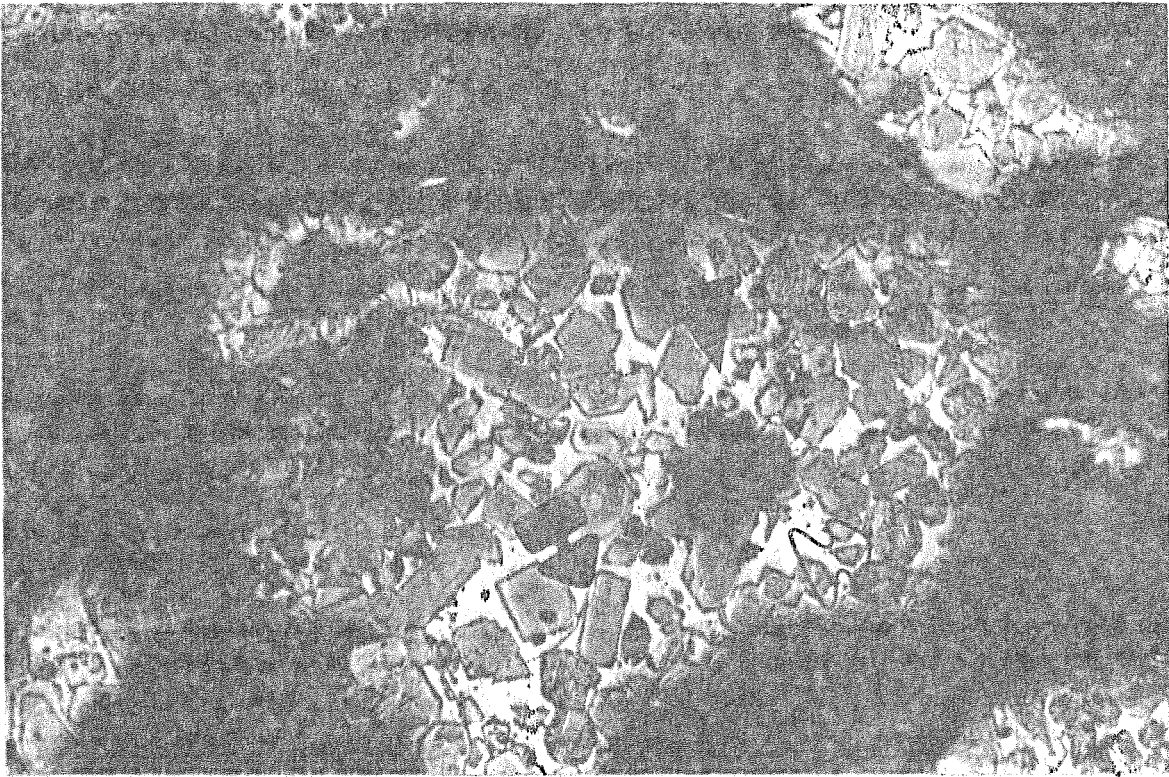


Fig.1 Muestra de clinker. Material crudo bien homogeneizado; óptima temperatura de enfriamiento. cristales de alita en forma hexagonal, de color azul (flecha negra); cristales de belita (flecha blanca), redondeado. Además aparece un hueco de la resina, en color negro; también se puede observar la matriz (triángulo negro). X20. 40 segs. de ataque con nital, tiempo de exposición 45 segundos.

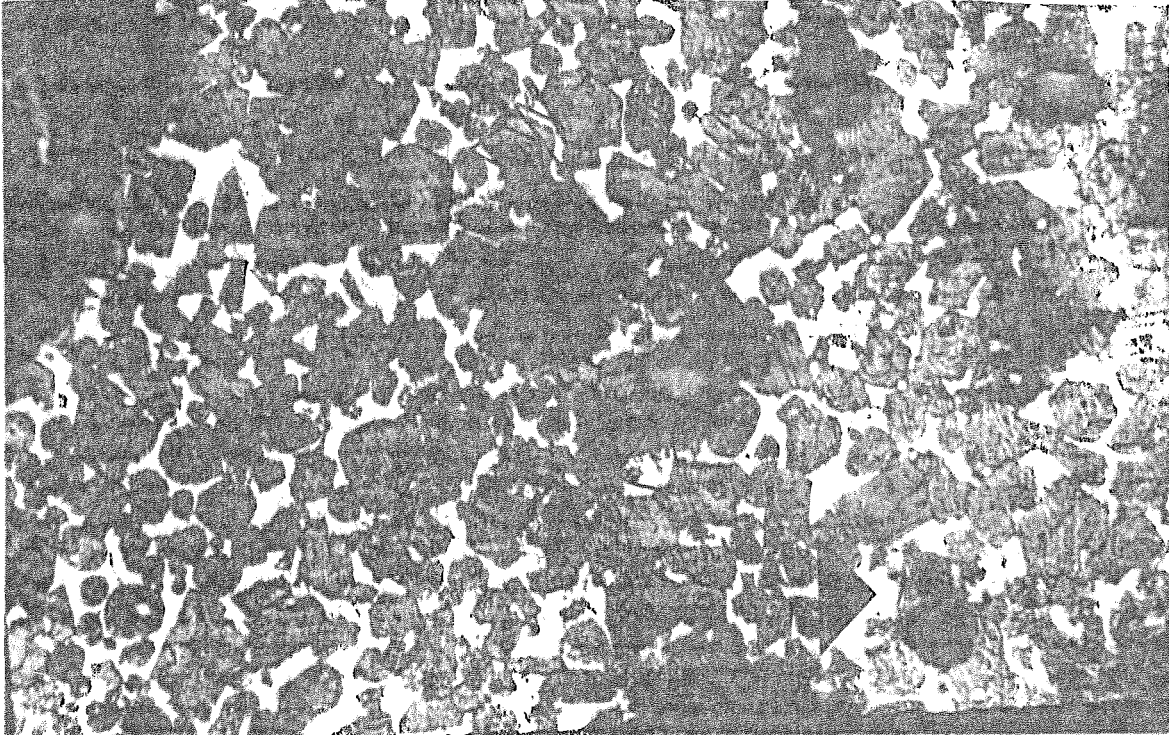


Fig.2 Muestra de clinker, atacada con vapores de HF, durante 20 segs. Material crudo bien homogeneizado; en color marrón (flecha blanca), alita. En color azul (flecha negra), belita; matriz (calita), con un triángulo negro. X50; tiempo de exposición 1 seg. Poro de la muestra, triángulo de color blanco.



Fig.3 Muestra de caliza. Se observan los cristales de calcita (flecha negra); obtenido por microscopia de luz transmitido. Tiempo de exposici3n 1/2 seg. X20.

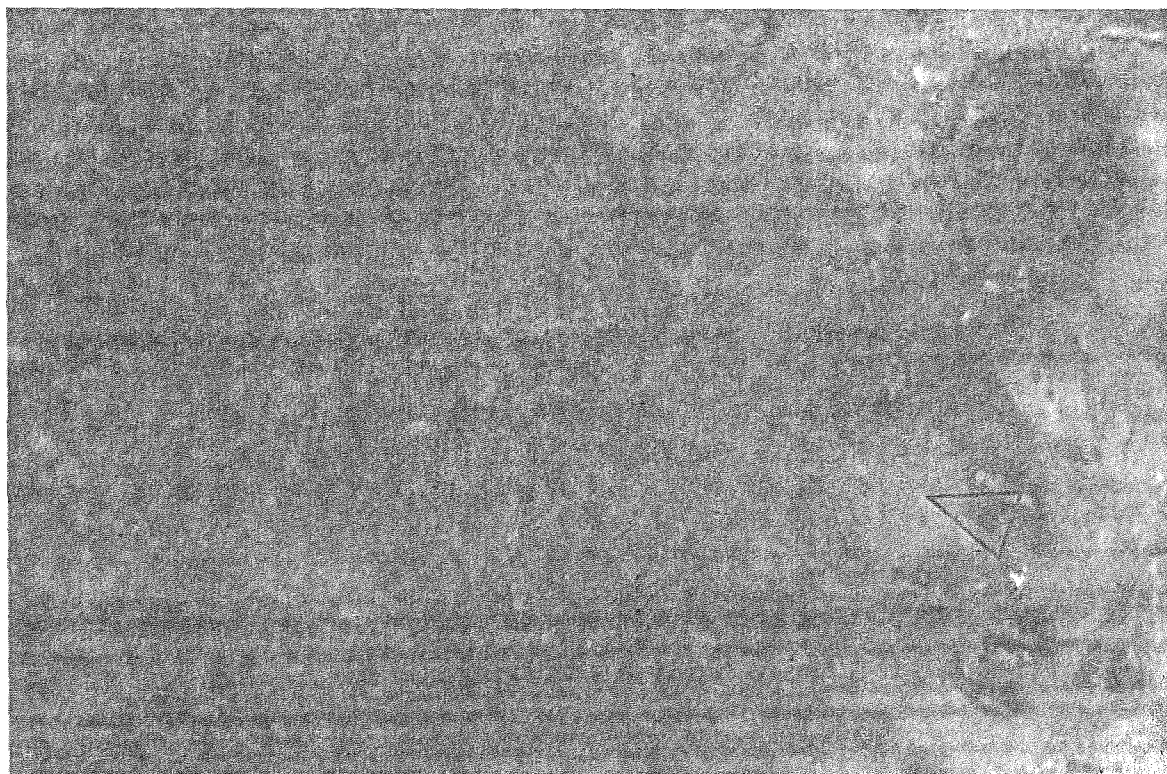


Fig.4 Muestra hidratada (3 d1as), de cemento + 10% de caliza. Ataque con nital, durante 20 segs. X50. Cristales de calcita (flecha negra). Presencia de C3S (flecha blanca); matriz o fase fundida indicada por un tri1ngulo blanco.

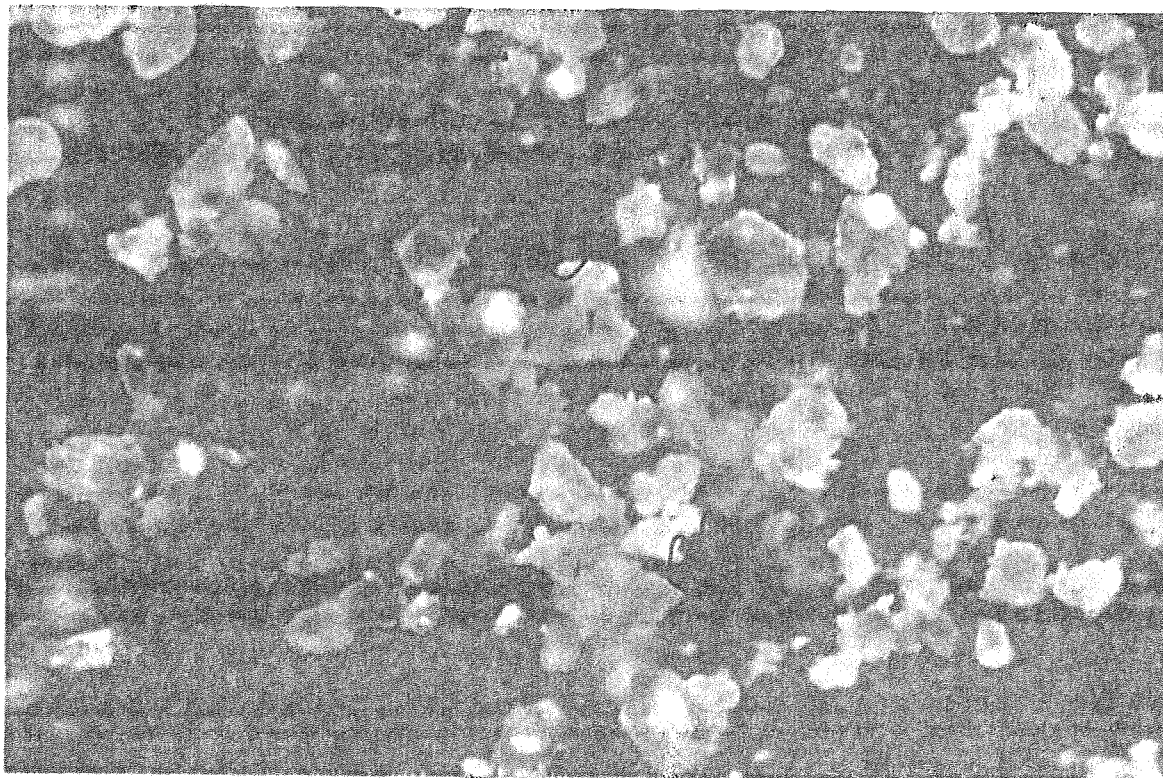


Fig.5 Muestra hidratada (3 días) de cemento + 10% de caliza. Analizada por microscopia de luz transmitida; en color amarillo se notan los cristales de calcita (flecha blanca). X20. Tiempo de exposición 4 seg.

MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO. Mediante análisis de DRX y de microscopía óptica de luz reflejada y luz transmitida, se encontró que a edades de 3 y 28 días aún permanece la calcita (CaCO_3) sin reaccionar.

Por lo tanto, se utilizó la técnica de microscopía electrónica de barrido* en muestras hidratadas con el objetivo de poder observar los productos de hidratación del cemento con adición de caliza a la escala del micrón.

Para esta técnica, fueron preparadas pastillas de muestras anhidrada y de muestras hidratadas, las cuales se recubrieron al vacío con pintura metálica (Ag). Estas muestras se enumeran a continuación:

1. Caliza
2. Cemento + 10% de caliza, 3 días de hidratación
3. Mortero de cemento tipo I, hidratado durante 3 días
4. Cemento hidratado, 3 días tipo I

También se realizaron análisis puntuales en algunas de las muestras para conocer en el momento de hidratación la composición elemental. Con este análisis se puede conocer con más exactitud cual es la variación de un elemento específico en una muestra seleccionada.

Las Figs. 6, 7, 8, 9 y 10 fueron obtenidas por la técnica de microscopía electrónica de barrido (MEB). También se incluyen los análisis puntuales (ver Figs. 11, 12, y 13, y los cuadros 35, 36 y 37) para la caliza, el cemento hidratado tipo I, y el cemento + 10% de caliza.

* Jeol Modelo JSM 35CF.



Fig.6 Microfotografía. Se observan (flecha negra) los cristales de calcita (CaCO_3). X13000.

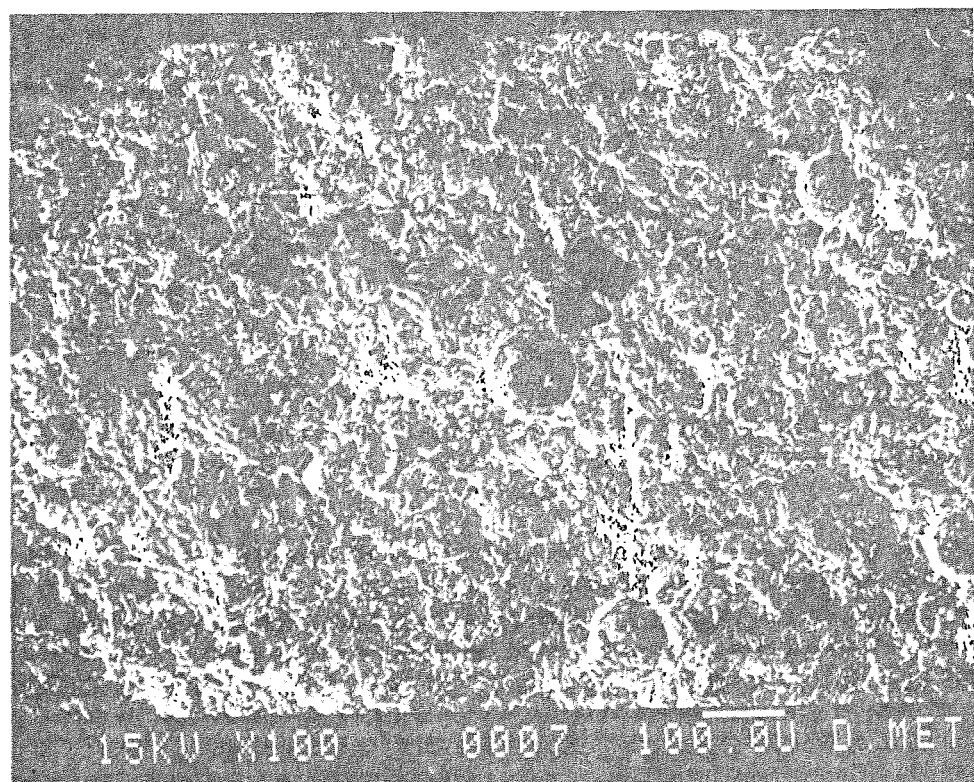


Fig.7 Microfotografía de cemento hidratado (3 días), con 10% de caliza. Notese la homogeneidad de la muestra; además, la presencia de una cantidad muy pequeña de poros. Con flecha negra aparece señalado un poro característico.

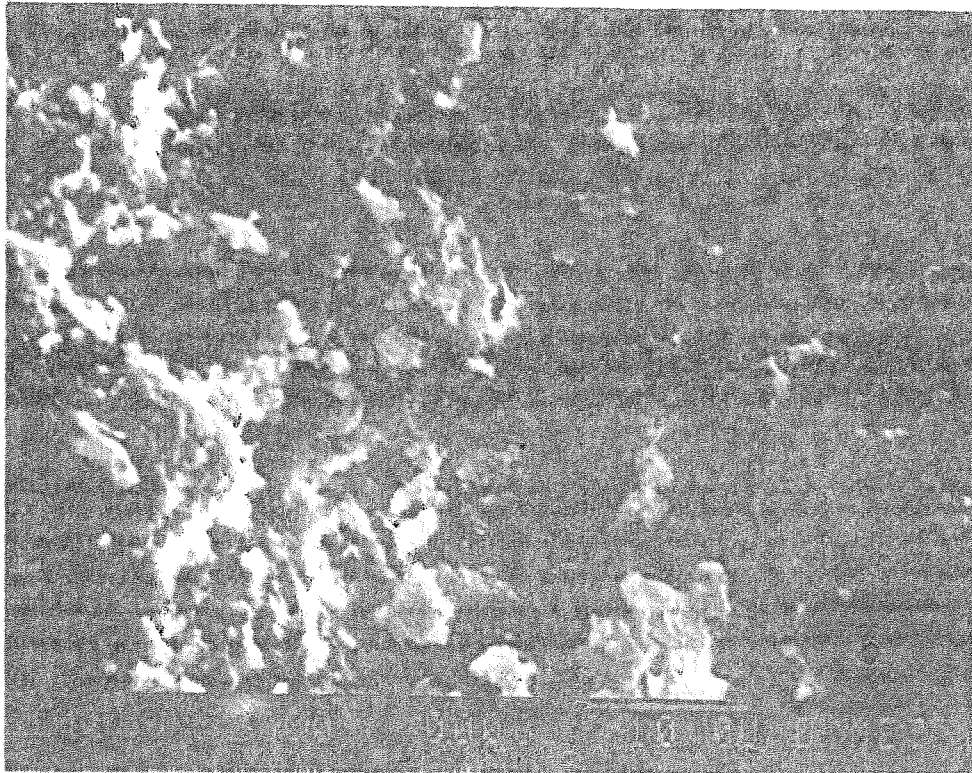


Fig.8 Microfotografía de muestra de cemento + 10% de caliza. Hidratada por 3 días; observense los geles característicos de los productos de hidratación en una muestra de cemento, son indicados por una flecha negra. Amp. X2000.

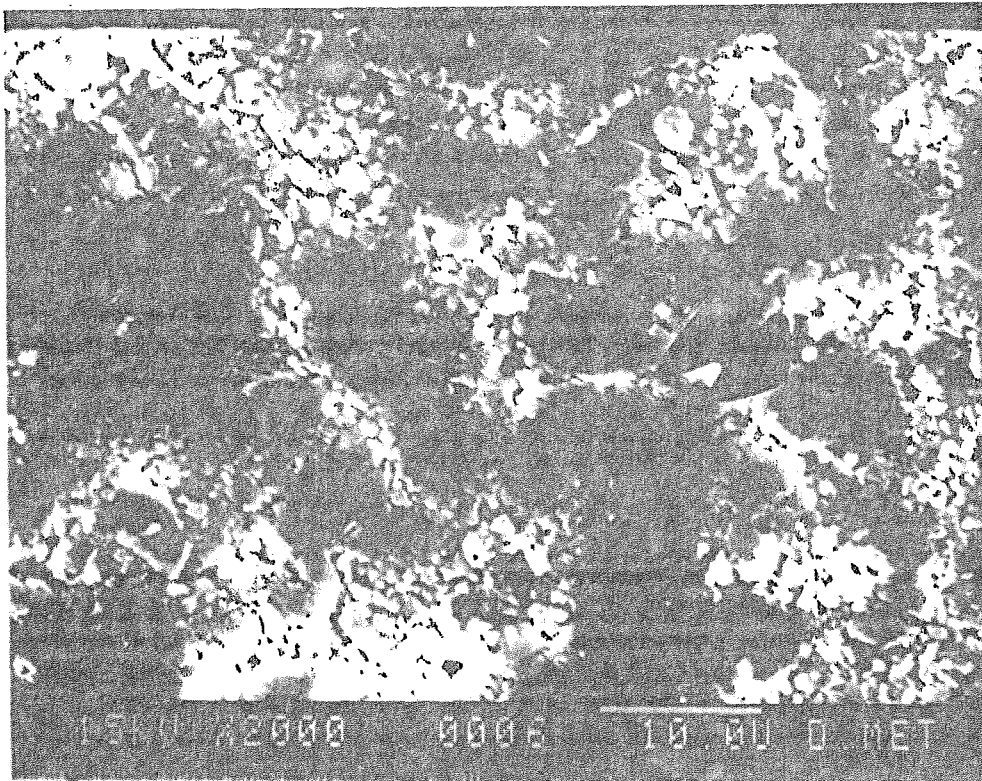


Fig.9 Microfotografía de mortero de cemento, hidratado por 3 días. Se aprecia una gran cantidad de poros; se indican por una flecha negra. Amp. X2000.

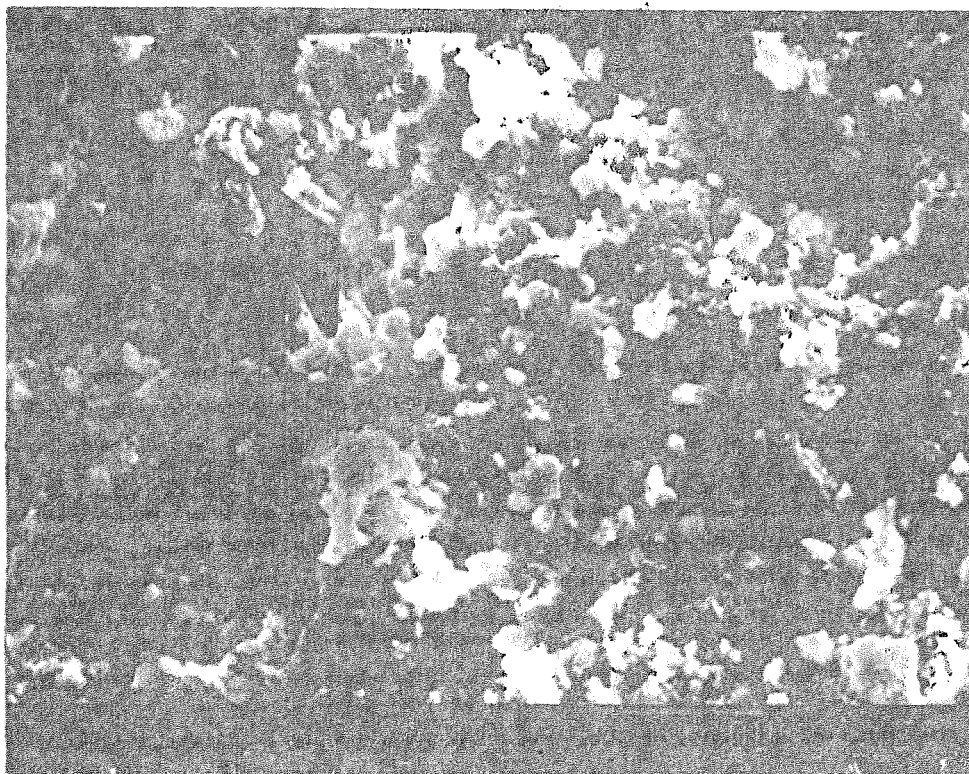


Fig.10 Microfotografía de pasta de cemento tipo I, con 3 días de hidratación. Puede notarse la presencia de los geles (flecha negra) de los productos de hidratación. Comparese con los de la Fig.8.

FIG. 11

EG&G Ortec System 5000
Spectrum Plotting Program
Printplot V02.05

117

Sample ID: Colizo.

Energy Range: 0 - 40 keV 10 eV/ch

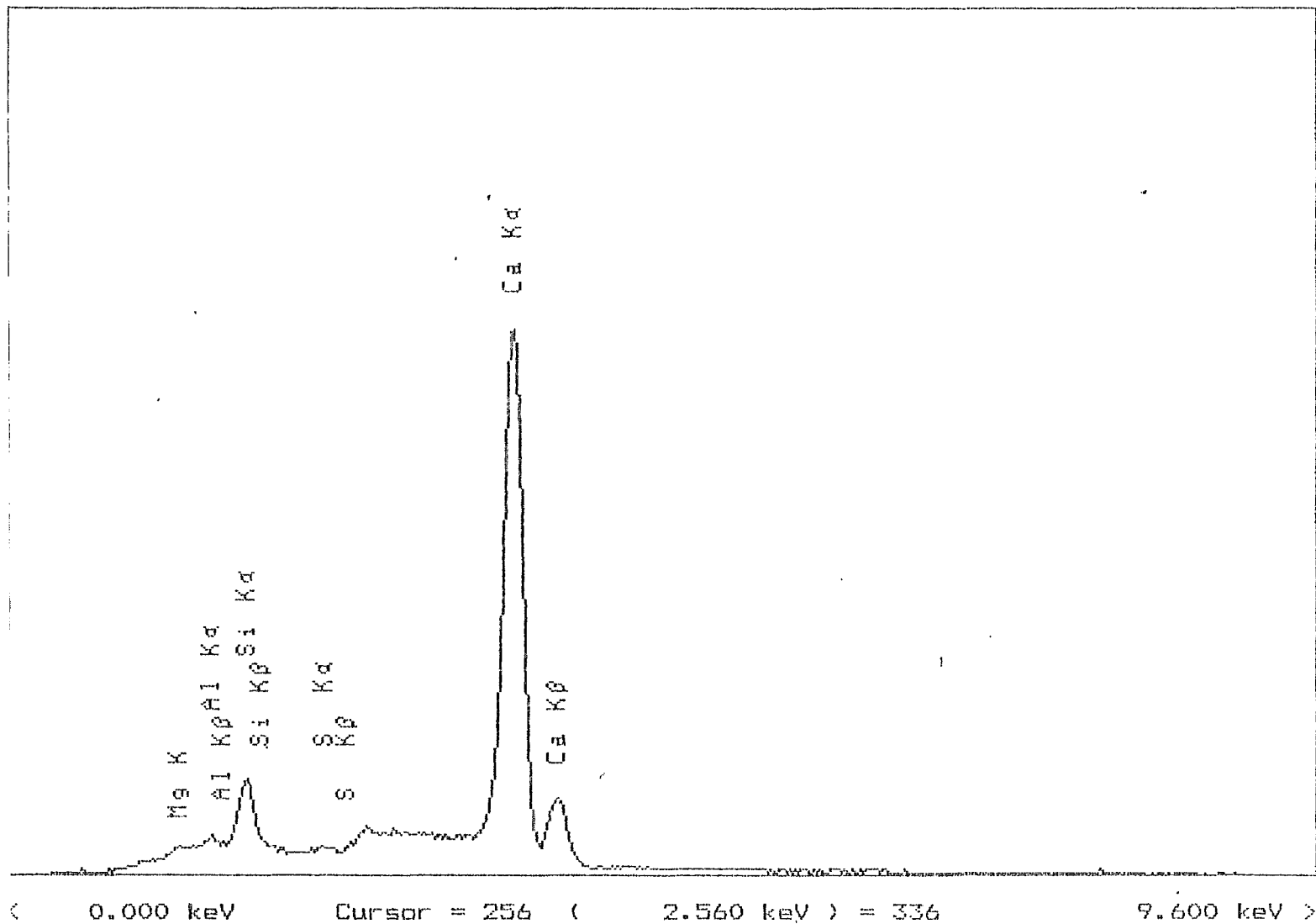
Preset: Real Time 50 Seconds

Real Time: 50.00 Sec. Live Time: 25.24 Sec.

50% Deadtime 8652 Counts/Second

Acquisition date: 17-Jul-89 Acquisition time: 11:28:25

Cfs BK



0.000 keV

Cursor = 256 (2.560 keV) = 336

9.600 keV >

FIG. 13

EG&G Ortec System 5000
Spectrum Plotting Program
Printplot V02.05

119

Sample ID: Cemento + 10% de Cal .Hidratada.

Energy Range: 0 - 40 keV 10 eV/ch

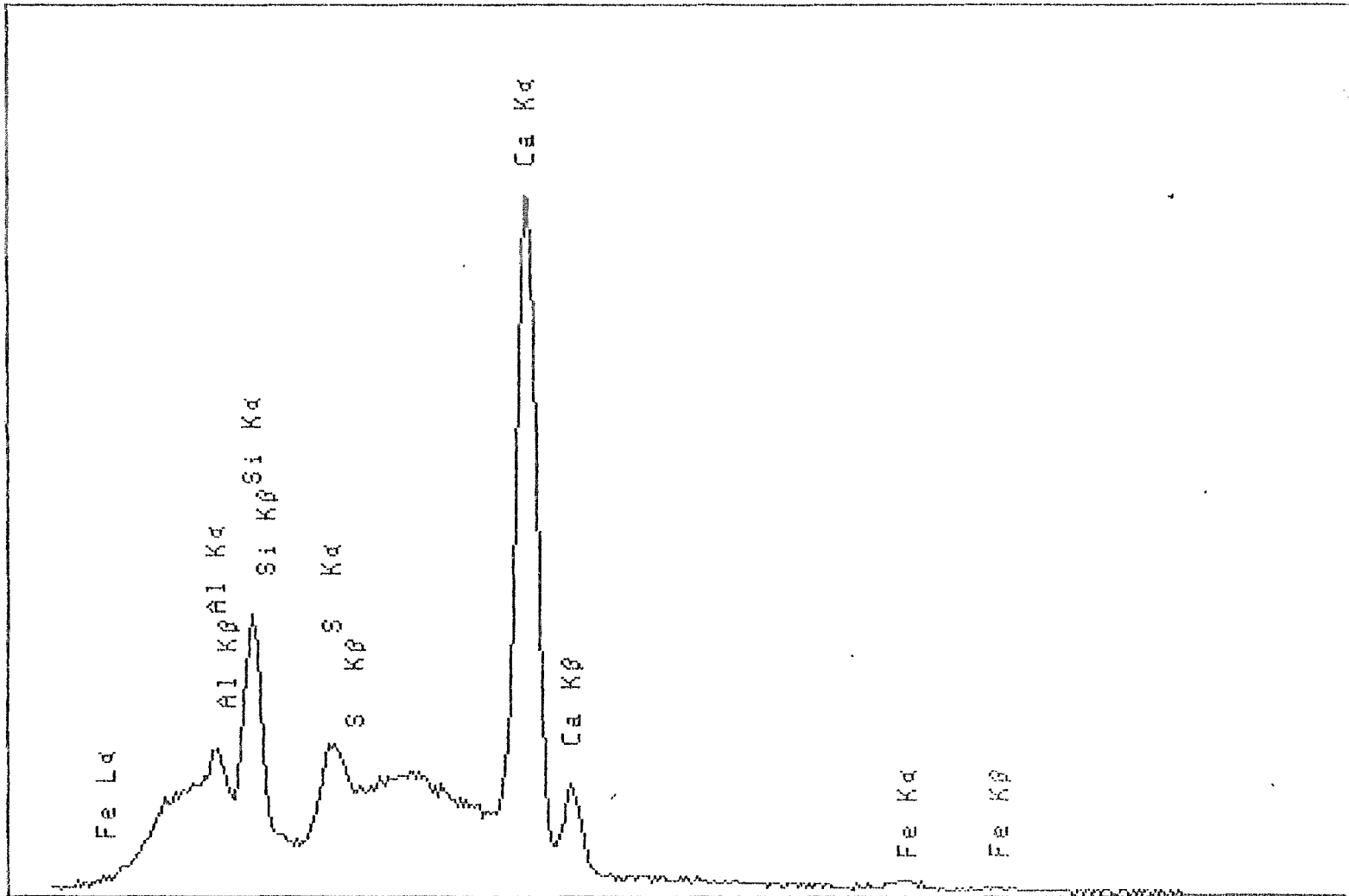
Preset: Real Time 50 Seconds

Real Time: 50.00 Sec. Live Time: 25.43 Sec.

51% Deadtime 8860 Counts/Second

Acquisition date: 06-Jul-89 Acquisition time: 19:40:35

Cfs 4K



< 0.000 keV Cursor = 231 (2.310 keV) = 694 9.600 keV >

Sample ID: Caliza.

Cuadro No.35

Acquisition Date: 17-Jul-89 11:28:25

Analysis Date : 17-Jul-89 12:36:23

----- Analytical Results -----

Element	Line	Weight %	Normalized Atomic %	Net Intensity
Mg	K	0.00	0.00	0.00
Al	K	0.00	0.00	0.00
Si	K	4.62	6.47	208.75
S	K	0.00	0.00	0.00
Ca	K	95.38	93.53	1965.97

Sample ID: Cemento Hidratado tipo I.

Cuadro No.36

*Acquisition Date: 06-Jul-89 14:27:07

Analysis Date : 07-Jul-89 14:04:17

----- Analytical Results -----

Element	Line	Weight %	Normalized Atomic %	Net Intensity
Mg	K	0.17	0.26	6.59
Al	K	3.65	5.00	191.85
Si	K	15.15	19.94	928.78
S	K	3.00	3.46	162.44
K	K	0.81	0.77	40.54
Ca	K	74.78	68.96	2043.52
Fe	K	2.45	1.62	22.85

Sample ID: Cemento + 10% de cal hidratada

Cuadro No.37

Acquisition Date: 06-Jul-89 19:40:35

Analysis Date : 07-Jul-89 13:23:26

----- Analytical Results -----

Element	Line	Weight %	Normalized Atomic %	Net Intensity
Al	K	1.35	1.89	35.61
Si	K	9.73	13.07	307.32
S	K	5.69	6.70	161.88
Ca	K	83.23	78.35	1160.58
Fe	K	0.00	0.00	0.00

CAPITULO IV

DISCUSION DE RESULTADOS

DISCUSION DE RESULTADOS

Pruebas químicas y físicas. En la realización de la moliendas (cuadros 3 y 4) de las materias primas se encontró que la caliza posee una menor aptitud de molienda que el clinker, pues se obtienen mayores blaines, a menores revoluciones.

Por análisis de vía húmeda (Cuadro No.5) se determinó que la caliza utilizada no era dolomítica, pues su porcentaje de magnesia (MgO) fue muy bajo. También puede notarse su alto valor para la pérdida por ignición (PxI).

Además, por análisis (cuadro No.5) de fluorescencia cuantitativa de rayos-x, también se confirmó la calidad de la caliza. El mismo análisis realizado en el yeso dió por resultado un yeso contaminado con sílice (cuarzo); sin embargo, no tiene efectos negativos sobre los objetivos de este trabajo.

El análisis de la gráfica No.3 indica que a medida que aumenta el blaine del cemento también aumenta la resistencia a la compresión; es decir, que la adición del 10% de caliza de blaine constante no afecta el valor de la resistencia.

En la gráfica No.4 se nota que no existe una relación directa entre la variación del blaine de la caliza y la resistencia. Esto se puede confirmar para la caliza de blaine igual a 4015 cm^2/gr cuyo valor de la resistencia a la compresión, a 3 días, es menor que la de una muestra de menor (3874 cm^2/gr) blaine.

Sin embargo, la muestra de caliza de blaine igual a 4955 cm^2/gr mostró una tendencia de aumento para la resistencia en todas las edades. Por lo tanto, fue seleccionada como la muestra de caliza de blaine óptimo. Un

cemento de blaine igual a 3210 cm^2/gr también fue seleccionado.

La gráfica No.5 muestra los diferentes porcentos de caliza adicionados. Una adición de 5% de caliza produce mayores valores en todas las edades que los obtenidos para la resistencia a la compresión en la muestra patrón de cemento tipo I. No obstante, un 5% de adición de caliza sería insignificante para los fabricantes de cemento, ya que su ahorro de energía eléctrica sería muy pequeña o casi el mismo del cemento Portland tipo I.

Por consiguiente, la adición de 10% de caliza de blaine igual a 4955 cm^2/gr , presenta mayores valores de resistencias a 3 y 28 días, y casi el mismo a 7 días que el cemento patrón; es decir, que la adición óptima al cemento tipo I, cuyo blaine es de 3210 cm^2/gr , será del 10%.

La muestra de cemento + 10% de caliza, producida por molienda separada, se comparó con otra de blaine similar (3400 cm^2/gr) pero obtenida por molienda conjunta. Puede notarse (gráfica No.6) que la molienda separada da mayores valores de resistencias que la obtenida por molienda conjunta e inclusive que la muestra patrón. Para conseguir valores de resistencias mecánicas mayores, por molienda conjunta, se debe aumentar el blaine de la mezcla.

Nuevamente, se comparan las mezclas de cemento con caliza (gráfica No.7) producida por molienda conjunta y separada. Pero ahora, se aumentó el blaine de la conjunta hasta 3759 cm^2/gr . Se obtiene mayor resistencia a tres días y prácticamente la misma a 7 días que la muestra patrón; sin embargo la molienda separada sigue dando mayores valores a todas las edades.

Por molienda en circuito abierto, nunca se podrán obtener valores de resistencia superiores, por molienda conjunta, a los obtenidos por la separada. Esto se debe a que el material de menor molturabilidad se molerá más fino, por tanto, habrá mayor cantidad de este componente en los finos; no obstante, en la industria del cemento sucederá todo lo contrario, pues se utiliza el método de molienda por circuito cerrado.

De la Gráfica No.8 se desprende que la sustitución de un cemento Portland tipo I cuyo blaine sea de 3210 cm^2/gr , podrá hacerse siempre y cuando se muele el cemento con caliza a un blaine mayor que 3759 cm^2/gr en una molienda conjunta y por circuito abierto.

El análisis químico del cemento tipo I (cuadro No.28), puede compararse con el análisis por fluorescencia cuantitativa de rayos-x (cuadro No.30) del cemento + 10% de caliza. La única diferencia acentuada es la P_{XI} (pérdida por ignición).

Las pruebas físicas para el cemento tipo I o patrón (cuadro No.31) se realizaron como parámetro de comparación con las del cemento con caliza (cuadro No.32). El cemento con caliza resultó más plástico, pues posee mayor tiempo de fraguado inicial; es decir, que tiene mayor trabajabilidad. Además no presenta expansión, ni falso fraguado. La corrección del tiempo de fraguado inicial, tanto para la muestra patrón como para la caliza, puede hacerse interpolando en las gráficas 9 y 10, para una penetración de la aguja de Vicat igual a 25mm.

DIFRACCION DE RAYOS -X

El difractograma No.1 muestra la calidad de la caliza utilizada, es decir, que era calcita pura (CaCO_3). Las reflexiones hkl características corresponden a la tarjeta ASTM No.5-586.

1- CaCO_3 .

d(A°) ³	3.03	2.28	2.09	3.85
I/I ₁	100	18	18	12

También, aparece una pequeña cantidad de sílice (cuarzo), que es normal en la caliza. Las reflexiones hkl, características para el cuarzo corresponden a la tarjeta ASTM No.5-0490.

2- α SiO_2

d(A°)	3.34	4.23	2.38
I/I ₁	100	35	17

Además la presencia de esta sílice fue cuantificada, por análisis de vía húmeda, cuyo porcentaje obtenido fue igual a 3.63 (Ver cuadro No.5).

Las reflexiones hkl, para el C_3S , corresponden a las reportadas por la ASTM, tarjeta No.31-301.

3- C_3S .

d(A°)	2.77	2.61	2.18
I/I ₁	100	90	75

La presencia del $\beta\text{C}_2\text{S}$, corresponden a las reportadas, por la ASTM, tarjeta No.33-302A.

4- $\beta\text{C}_2\text{S}$

d(A°)	2.77	2.77	2.74
I/I ₁	100	97	83

Con las tarjetas patrones ASTM No.32-148 y 38-1429, cuyas reflexiones hkl correspondieron al C_3A , fue identificado este compuesto.

3- C_3A .

d(A°)	2.69	1.92	1.54
I/I ₁	100	45	45

Las reflexiones hkl para el C_4AF corresponden a la tarjeta ASTM No. 30-227

4- C_4AF .

d(A°)	2.61	7.60	1.80
I/I ₁	100	45	45

comparación con el difractograma No.2). Esta difracción indica la formación de nuevos cristales que pueden ser determinados de una manera muy pobre.

La presencia de estas reflexiones es indicio de que se ha producido la hidratación. Las reflexiones de los cristales de calcio hidróxido.

El difractograma No.28 días produce un difractograma No.3 que aparece en la literatura, es decir la BC2S. Este difractograma corresponde a la tarjeta ASTM No.24-34.

d(A°)

I/I₁

El difractograma No.4 se caliza con 28 días de hidratación y los cristales de calcita y los cristales de portlandita difractograma 4; este difractograma ha reaccionado.

En los difractogramas de cemento tipo I se muestra una diferencia entre los cristales de hidratación.

La presencia del $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ se pudo identificar por las reflexiones hkl, las cuales corresponden a la tarjeta ASTM No.6-46

5- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

d(A°)	7.60	3.03	4.27
I/I ₁	100	55	50

La muestra de cemento tipo I hidratada por 3 días, corresponde al difractograma No.3. Su análisis dio por resultado los mismos compuestos señalados más arriba (menos el yeso). Únicamente aparecen la sílice (αSiO_2), y la portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); la presencia de sílice proviene de la arena de Ottawa, es decir, que el único producto formado fue la portlandita.

Las reflexiones características hkl para la portlandita corresponden a la tarjeta ASTM No.4-733.

6- $\text{Ca}(\text{OH})_2$

d(A°)	2.62	4.91	1.93
I/I ₁	100	74	42

El difractograma No.4 también, muestra los mismos compuestos que el anterior: no obstante, este presenta una disminución en las intensidades de las reflexiones hkl en

decir que las reflexiones hkl de la muestra con caliza aparecen con menor intensidad.

MICROSCOPIA OPTICA Y ELECTRONICA DE BARRIDO.

Se realizó un análisis microestructural, con el objetivo de conocer la posible actividad de la caliza, en muestras hidratadas.

Por microscopía óptica se entendió la microestructura del clinker (figs. 1 y 2), la presencia de alita (C_3S), belita (C_2S), y de celita (C_3A y de C_4AF), fueron bien identificadas. La alita se presenta en color azul (agente de ataque nital), sus cristales hexagonales están bien definidos; con ataque de vapores de ácido fluorhídrico (HF) se presenta en color marrón; mientras que la belita aparece en color marrón (ataque con nital) y de color azul (ataque con vapores de (HF) y sus cristales son redondeados.

Además, se pudo observar claramente (figs.1 y 2), la fase fundida la cual corresponde a la celita; aparece en ambas figuras en color gris.

Esto es índice de que el clinker utilizado fue obtenido en una buena calcinación, pues presenta buena definición de los cristales y de la fase fundida.

Usando luz transmitida fueron observados los cristales de calcita ($CaCO_3$) en una muestra de caliza. Mediante esta técnica se pudieron observar claramente los cristales que presentan la forma prismática de color (fig.3) gris en la superficie y marrón en la parte central.

También, usando luz reflejada fueron observados los cristales (fig.4) de calcita, en una muestra de cemento con 10% de caliza la cual fue hidratada por 3 días. Cabe mencionar que los cristales aparecen del mismo color y de la misma forma que las de la muestra patrón, estos se señalan con una flecha negra.

Además se encontró la presencia de cristales de calcita (CaCO_3) en otra muestra hidratada (fig.5) por 3 días, de cemento con 10% de caliza, la cual fue obtenido por medio de luz transmitida, estos son señalados por medio de flechas de color blanco.

Por microscopia electrónica de barrido, se realizó una observación a la escala del micrón, nuevamente en muestras hidratadas de cemento Portland tipo I, cemento con 10% de caliza, y en muestra de caliza no hidratada.

La microfotografía No.6, obtenida por microscopia electrónica de barrido corresponde a la caliza la cual será como patrón. El tamaño de los cristales de calcita, fue determinado; ésta en promedio presenta un largo de 8.56μ y un ancho 2.08μ .

La muestra (fig.7) de cemento con 10% de caliza resultó con menor cantidad de poros que otra muestra de cemento (fig.9) Portland tipo I, ambas hidratadas a 3 días; esto hace que la muestra de cemento con 10% de caliza sea más resistente a los ataques externos.

Las microfotografías 8 y 10 ponen de manifiesto la formación de geles. Significa que estas muestras se hidratan de una manera similar. Es decir, que ponen de relieve de una manera precisa, la forma en que los cristales iniciales se transforman en geles.

La presencia de cristales de calcita (CaCO_3) no pudo ser determinada con precisión por la técnica de microscopía electrónica de barrido. Sin embargo se realizaron análisis puntuales con la finalidad de confirmar la presencia de una manera indirecta de calcita (CaCO_3) (ver figs. 11,12 y 13) las cuales fueron obtenidas por fluorescencia de rayos-x.

La comparación del cuadro No. 36, de la muestra de cemento Portland tipo I obtenido por análisis puntual y el cuadro No.37, el cual corresponde a la muestra del cemento con 10% de caliza, ambos a la misma hidratación (3 días), pone de relieve un mayor porcentaje en peso de calcio (Ca) en la muestra con el 10% de caliza; este aumento confirma la presencia de calcita aún en esa muestra de cemento hidratado.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Al final de este trabajo, recopilando todo el proceso de investigación y discutiendo los resultados, vamos a desglosar las siguientes conclusiones:

1. Se considera que con este trabajo se introduce una innovación en las adiciones al cemento tipo I o común. En particular se escogió la caliza la cual en un porcentaje de 10% adicionada al cemento Portland tipo I, mejora las condiciones de molienda de clinker; esto se refleja marcadamente en una economía de energía eléctrica. Cabe señalar que la caliza utilizada fue calcita pura, es decir, de una pureza en CaCO_3 mayor que el 90%, además, no era dolomítica.

2. Cabe mencionar que la molienda del cemento + 10% de caliza a un blaine de $3759 \text{ cm}^2/\text{gr}$ no modifica los valores de resistencia mecánica característicos del cemento Portland tipo I.

3. Se observa que el comportamiento en reacciones de hidratación del cemento con 10% de caliza a edades de 3 y 28 días. La calcita prácticamente no participa en las reacciones de hidratación, puesto que fue detectada por las diferentes técnicas de análisis empleadas.

4. Sin embargo, la presencia de calcita impide la presentación de un falso fraguado, además elimina el riesgo de expansión.

5. Se considera que las propiedades físicas, tales como plasticidad, trabajabilidad y tiempos de fraguado, son

favorecidos por la adición de un 10% de caliza al cemento Portland tipo I.

6. Un aumento de la plasticidad favorece acentuadamente las condiciones reológicas de la pasta hidratada, del cemento con 10% de caliza.

7. La disminución de la cantidad de poros en una muestra hidratada del cemento con 10% de caliza, en comparación con una del cemento patrón (cemento sin caliza), produce una pasta más impenetrable y por lo tanto más resistente a los ataques externos.

8. Las técnicas de análisis utilizadas en este trabajo permitieron caracterizar las fases principales del cemento tipo I y del cemento con 10% de caliza a 3 y 28 días de hidratación.

9. No obstante la formación de nuevos compuestos de hidratación no pudieron ser detectados con precisión, en vista que estos aparecen en forma de geles o de cristales incipientes.

10. La utilización de microscopia a nivel óptico y electrónico sirvió como complemento en la identificación de las fases presentes en cementos anhidros e hidratados.

11. Cabe mencionar que a nivel óptico, se determinó la forma definida de los cristales, y, a nivel electrónico, se pudo precisar el tamaño y la forma de los mismos. Además efectuar análisis puntuales.

Para finalizar, la aplicación de este trabajo en la República Dominicana sería utilizando materias primas de mi país lo que me permitiría evaluar la metodología, seguida en esta investigación.

Además considero muy conveniente, la factibilidad de aplicar este trabajo en mi país ya que cuenta con grandes yacimientos de caliza. La caliza, que debe utilizarse debe ser no dolomítica.

Este trabajo, iniciado en México, marca el comienzo de una serie de trabajos que se inscriben en las investigaciones del cemento Portland con adiciones. Sería muy importante establecer normas de calidad, para este cemento con 10% de caliza.

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

1. Taylor, H.F.W. " La química del cementos. vol.I,II. Ediciones Urno,Bilbao, España. 473 pp. 1971.
2. Aguilar Calderón, Ausencio. Cemento Portland; fabricación, propiedades y empleo. IMCYC.A.C.1969.24pp.
3. Servicios Profesionales Tolteca; Horno con precalentador. Monografía.s/f.
4. Calleja, José. Los nuevos cementos españoles de las normas UNE 80-301/85, los cementos con características adicionales del proyecto de norma UNE 80-303/86. Cemento Hormigón (España).núm 633.pp721-741.1986.
5. Perez Alonso,Julio. Cementos de adición. Cemento Hormigón (España). núm.627. pp.149-175. 1986.
6. Virella Bloda, Alberto. Los cementos Portland con adiciones y los cementos compuestos. Materiales de Construcción (Epaña). núm.164. 1976.
7. Baron, Jacques.,Christian Douvre. Technical and economical aspects of the use of limestone filler additions in cement. World Cement. 1987.
8. Phillips,W.T. Fundamentos de Mineralogía para Geólogos;tr del Inglés por María Cristina. ed ,Limusa.S.A. de C.V. México. 1986.
9. Calleja, José. Tendencias futuras en la investigación de la estructura, propiedades y comportamiento de las pastas de cementos con adiciones . Cemento-Hormigón (España).núm 646.1987.

10. Cement Research Institute of India. Proving Limestone deposits for the manufacture.New Delhi. CRII.1981.
11. Servicios Profesionales Tolteca. Método de análisis químico y físico del cemento. s/ed. s/f.
12. Stout, George, Lyle H. Jensen. X-ray Structure Determinación; Macmillan Pusblishin Co.Inc N.Y. 1965.
13. Shaffer, Paul R. Rocas y minerales. Organización Editorial Navaro.S.A. México D.F. 1981.
14. The European Cement Asossiation. Manual for the testing of cement streth. París. Cembureau. 1973. 60 pp.
15. Trujillo, Maria Luisa., Juan Carlos, Sánchez. Determinación del grado de deshidratación del yeso en el cemento; tesis, UNAM. 1987.
16. Vázquez, Triviño. Difracción de rayos -x; aplicación de la calidad en la construcción . IETCC.(España). 1971. 473pp.
17. Ahmed, Wase. Preparation of cement clinker for microscopic analysis, Buehler LTD. Evanston. U.S.A.1981.
18. American Concrete Istitute. Cement and concrete terminology.Detroit. 1967.
19. Análisis de minerales. Comisión de Fomento Minero, Unidad Tecamachalco México.5a.ed.1977.199pp.
20. Bergeron, Clifton. Introduction to phase equilibra in ceramics.2nd.ed.The American Ceramic Society, Inc.Columbus. Ohio.s/f.

21. Bogue, Robert Herman. La química de cemento Portland. Madrid, editorial Dossat. S.A. 1952. 642pp.
22. Calleja, José. Las adiciones a los cementos. Materiales de construcción (España). núm. 165. 1977.
23. Calleja, José. Presencia y actuación Española en la 30 reunion de técnicos de la industria del cemento del Brasil. Rio de Janeiro. pp. 51-70. 1979.
24. Campbell, Donald. Microscopical examination and interpretation of Portland cement and clinker. Construction technology Laboratories. a division of the Portland Cement Association. Skokie, Illinois. 1986.
25. Cembureau. The European Cement Association. Some recent resarch on cement hydration; summaries of contributions to a seminar in Koge Denmark. may 25-26, 1975.
26. Cement Manufacture's Handbook. New York: Chemical Publishing Company, 1979. 382pp.
27. Palomar, Patricio. La industria y el mercado del cemento en América. Cemento-Hormigón (España). núm. 633. pp. 773-787. 1986.
28. Pantin, Eduardo., Juan, Baragaño etal. Fabricación de Cementos de Escorias en Venezuela. Asociación de Productores de Cemento, Barquisimetro. pp 1-8. 1987.
29. Patzet, Walter. Microscopía de polarización, fundamentos, instrumental y aplicaciones. ErnestLeitz. Alemania. 1974.
30. Perez Gasga, Flavio., José, Dáz. Fabricación del cemento. México, Banco de México, S.A. 1951.

31. Peterson, Erick. Report in cement Chemistry, microscopy of cement mix and clinker. núm.25. By Erling Fundal, F.L. Smidth Laboratories Copenhagen, Denmark.
32. Venezuela. Comite conjunto del concreto armado, cemento; Ensayos de laboratorio y especificaciones. Caracas. 1968. 196pp.
33. Wayne T, Sproll. X-ray in practice; first Edition, Fourth impresion. Mc-Graw-Hill. 1946.
34. Young, J. Francis. Cement resarch progress. Cal Bus, Ohio. American Ceramic Society. 1983.
35. Cemento Portland -Escoria. asociación Venezolana de Productores de Cementos (Caracas). 1973.35pp.
36. Cemento Tolteca, S.A. De C.V. La fabricación y el empleo del cemento Portland.s/ed. s/f.
37. Coloquio, análisis por rayos X y absorción atómica. Asland(España).s/f.
38. Chemistry of Cement. Symposium.fifth.tokyo.october.7-11.1968,4vol.
39. Dana, Edwards., William E. Ford. Tratado de Mineralogía.Compañia Editorial Continental, S.A.México.1979.
40. Dodd, A.E.Consise Encyclopaedia Dictionary of Ceramics.2nd.ed.Elsevier Publishing Company.Amsterdam,1967.
41. Double, D., A.Hellawell. The solidification of cement. Scientific American. vol.237núm 1.1977.

42. Eberhardt, Claudio. Cemento, Apuntes maestría en Química Inorganica(Cerámica),UNAM.1988.
43. Eberhardt, Claudio. Residuos industriales para la fabricación de cemento. Construcción y Tecnología(México),vol II. núm 13. pp.25-28.1989.
44. Feigenbau, Armand V. Control total de la calidad. 5a.ed.Cecsa.1989.
45. Gallagner,P.K. Characterization of materials by Thermoanalytical Techniques. Mrs.Bulletin.1988. pp.23-27.
46. Groves,G.W. T.e.m. studies of cement clinker comounds,their hydration and strong cement pastes.Departament of Metallurgy and science of materials, University of Oxford. Parks Road. England,U.K. pp.79-83.1983.
47. Garduño, Luis. Control de la calidad en la fabricación del cemento Portland. IMCYC. vol25. núm.200. pp.33-43.1988.
48. Gasga, José Reyes. Manual para los usuarios del laboratorio de Microscopía Electrónica. Instituto de Física UNAM. 1987 . 443pp.
49. Guzmán Hernández,Ana. Influencia del esterearato de calcio en silicato tricálcico,clinker y cemento Portland tipo I ; Tesis UNAM. 1989.
50. Herrero Nuñez,Eduardo.,Juan,Baragaño Coronas. Cementos con adiciones activas. Cemento-Hormigón. núm.652.1983.
51. Hofmänner,Friedrich. Microstructure of Portlan cement clinker. Holderbank Management and Consulting. LTD. 1973.

52. Kirk, Raymond. Enciclopedia de tecnología Química;t4. Editora Hispano América. 1962.
53. Kittl,P., P.Lyon et al. Estudio fractográfico del clinker por medio del microscopio Electrónico de barrido(SEM). Instituto de investigaciones y ensayos de materiales, laboratorio de microscopía Electrónica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
54. Lea,F.M. The Chemistry of cement and concrete. 3a.ed. London.Edward Arnold. 1970. 642pp.
55. Loboehn,Otto. Prontuario del cemento.5a.ed. Barcelona,Editores Técnicos Asociados. S.A. 1985. 1016 pp.
56. López Flores,Federico . Resistencia de los cementos a la acción de los sulfatos, tesis UNAM. 1979.
57. López Morales,David. Aceleradores de resistencia y retardadores de fraguado en la formación del cemento y del concreto, tesis,UNAM. 1986.
58. Malhatra,V.M. Fly ash,silica fume,slag %,other mineral by products in concrete. Detrit. American concrete Institute. 1981.
59. Malpica Garmendia,Sergio. Control de calidad del clinker del cemento por medio de Microscopía; tesis,UNAM. 1971.
60. Manzano Peñaloza, Agustín. La fluorescencia de rayos X aplicada al análisis químico en la industria del cemento; tesis, UNAM. 1978.
61. Moore, Clyde. Chemical control of Portland cement clinker. Ceramic bulletin vol 61. núm.4. pp.511-515. 1982.

62. Neville, A.M. Properties of concrete. 3a.ed. London Pitman Publishing Limited, 1981. 779 pp.
63. Nuffield, E. X-ray diffraction methods; Edition John Wiley and sons, Inc. N.Y. 1966.
64. Pailleres, A.M., H. Raverdy. Influencia de las adiciones, inertes o activas en las propiedades de los cementos. Materiales de construcción (España). núm. 616-145. 1979.
65. Rico Santos, Othon. El control de calidad por medio de rayos -x en la industria del cemento; tesis, UNAM. 1978.
66. Rock Product, a Mecnlean Hunter publication. vol 92. núm.4.4 1989.
67. Rodríguez, Angel., Modesto, San Miguel et al. Aplicación de la Microscopía óptica de Fluorescencia al estudio textural del clinker de cemento Portland. Departamento de Geología. Universidad de Oviedo (España). pp.17-22.
68. Roy, D.M., C.A. Langton. Morphology and Microestructure of cement paste/rock interfacial regions. Materials research laboratory, the Pennsylvania State University, University Park .U.S.A.
69. Ryan, W., Fric. C. Chem et al. Properties of Ceramic raw materials. 2nd.ed. Department of Ceramic Technology. North Staffordshire Polytechnic; Pergamon Press. 1978.
70. Sakar, S. An improved technique of rein impregnation and etchins of Portland clinker; Marine Teccnology Centre Department of Metallurgy and Material Science, Imperial College, London.

APENDICE

Arido: Son los agregados inertes adicionado al cemento, para formar el concreto.

Filler: Es un material finamente dividido, tal como la caliza sílica; o cualquier sustancia coloidal adicionada al cemento Portland, o a cualquier otro material, para reducir el encogimiento, y mejorar la trabajabilidad.

Clinker: Es el producto parcialmente fundido de un horno el cual se muele, para obtener el cemento, conjuntamente con un porcentaje de yeso.

RELACION DE NORMAS EMPLEADAS.

<u>Designación</u>	<u>Título de la Norma</u>
NOM-C-1-80.	Industria de la Construcción-Cemento Portland.
NOM-C-21-83.	Industria de la Construcción-Cemento Mortero.
NOM-C-49-70.	Método de prueba para la determinación de la finura de cementantes hidráulicos mediante tamiz No.130M.
NOM-C-56-78.	Determinación de la finura de lo cementantes hidráulicos (Método de permeabilidad al aire).
NOM-C-57-83.	Industria de la construcción - Cementantes hidráulicas. Determinación de la consistencia normal.
NOM-C-59-75.	Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método de Vicat).
NOM-C-61-76.	Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos.
NOM-C-85-82.	Industria de la construcción - Método de mezclado mecánico de pastas y morteros de cementantes hidráulicos.

- NOM-C-130-68. Muestreo de cementantes hidráulicos.
- NOM-C-131-76. Determinación del análisis químico de cementos hidráulicos.
- NOM-C-132-70. Método de prueba para la determinación del fraguado falso de cemento Portland por el método de pasta.
- NOM-C-62-68. Método de prueba para determinar la sanidad de cementantes hidráulicos.
- NOM-C-144-68. Requisitos para el aparato usado en la determinación de la fluidez de morteros con cementantes hidráulicos.
- NOM-C-150-73. Determinación de la finura de cementantes hidráulicos mediante el tamiz No. 80 M (200).
- NOM-C-152-70. Método de prueba para la determinación del peso específico de cementantes hidráulicos.
- DGN-C-1-75. Cemento Portland.