

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

---



CONTROL DE CALIDAD EN UNA PLANTA DE  
AGREGADOS LIGEROS PARA CONCRETO

TESIS PROFESIONAL

ALEJANDRO GIL AYALA TEPOS

1 9 7 7



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

Tesis 1977  
LAB. M-38 38  
FECHA \_\_\_\_\_  
PROC. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



QUILMES

JURADO ASIGNADO  
ORIGINALMENTE -  
SEGUN EL TEMA. -

PRESIDENTE: I. Q. CLAUDIO AGUILAR.  
VOCAL : I. Q. RAMON ARNAUD H.  
SECRETARIO: I. Q. FIDEL FIGUEROA M.  
1er. SUPL. : QUIM. ANDRES ZUÑIGA P.  
2do. SUPL. : I. Q. ALBERTO DE LA FUENTE.

SITIO DONDE SE  
ELABORO EL TEMA:

PRODUCTORA DE EXTRUIDOS S. A.

SUSTENTANTE:

ALEJANDRO GIL AYALA TEPOS.

ASESOR DEL TEMA:

I. Q. FIDEL FIGUEROA MARTINEZ.

1977

A MIS PADRES

Herlinda y Gil  
Con gratitud, admiración y Cariño

CON CARIÑO:

A mis Hermanos

Abel  
Arturo  
Rosa Linda  
Graciela  
Hilda  
Patricia  
Raúl

A mi novia

Marfa del Carmen

Quiero hacer patente mi agradecimiento a las siguientes personas -  
que me han brindado una gran ayuda en mi desarrollo profesional.

Ing. León Fernández Orozco

Ing. Fidel Figueroa Martínez

Asi mismo, quiero agradecer a las siguientes personas su ayuda -  
para la formación de este trabajo.

Arq. Juan Luis Angeles Gonzáles

Ing. Luis Manuel Sosa Salas

Srita. Rosa Ma. Colín Vargas

Frofa. Carmen Arroyo Arroyo

Y a todos mis familiares, amigos y maestros.

# I N D I C E

CAPITULO		Hoja
I.-	INTRODUCCION	1
II.-	ARCILLAS	6
	Origen de las Arcillas	9
	Impurezas Principales	11
	Propiedades Físicas	12
	Propiedades Químicas	13
	Comportamiento Durante y Después del Quemado	15
III.-	ORIGEN Y MANUFACTURA DE LOS AGREGADOS LIGEROS	18
	Agregados Naturales	18
	Agregados Ligeros Obtenidos como Subproductos de Procesos Industriales	20
	Agregados Artificiales Producidos Industrialmente	22
IV.-	PROCESO DE FABRICACION	24
	Descripción del Proceso	25
	Materia Prima	29
	Molienda	31
	Granulación	33
	Secado	37
	Quemado	38
V.-	CONTROL DE CALIDAD	40
	Materia Prima	48
	Molienda y Granulación	56
	Secado	59
	Proceso de Quemado	62
-	CONCLUSIONES	78
-	BIBLIOGRAFIA	80

## I.- INTRODUCCION .

Tradicionalmente, en la Industria de la Construcción en México, se ha conocido al concreto como una mezcla de cemento agua y agregados naturales.

A los agregados naturales usados se les conoce como Agregados de Peso Normal, y se han dividido en: Agregado Fino ó Arena y Agregado Grueso ó Grava. La inclusión de los agregados en la pasta del cemento nos dá el cuerpo del concreto, que desarrolla un papel muy importante en las propiedades mecánicas del concreto mismo; además, desde el punto de vista económico, sirven como relleno para evitar un costo mayor en el precio del concreto, debido al aumento en el consumo del cemento que se va a usar para su fabricación.

Los agregados naturales de peso normal son rocas de origen volcánico, sedimentario ó metamórfico. Estos agregados se pueden extraer de depósitos naturales ó en canteras donde hay que extraerla por medio de voladura. En este caso y cuando los depósitos naturales no tienen la granulometría adecuada, hay que lograrla por el proceso de trituración y cribado.

Las gravas son partículas cuyos tamaños son retenidos en la Malla No. 4 (4.76 mm) y las arenas son aquellas que pasan la Malla No. 4

Los agregados naturales tienen una gran variedad de formas: redondas, irregulares, angulares, lisas, porosas, cristalinas etc.

Aunque estos agregados deben cumplir con determinadas normas, es difícil controlar la calidad de ellas, debido a que no siempre se encuentran en una región materiales que las cumplan.

Ahora se abre un nuevo concepto en cuanto a Agregados y Concretos se refiere, con los Agregados Ligeros.

Ahora bien, ¿Qué son los Agregados Ligeros? ¿De qué están hechos? ¿Cómo se hacen?

Los agregados ligeros pueden ser de tipo sintético ó artificiales, y de tipo natural.

Los agregados ligeros naturales se empezaron a usar a finales del siglo XIX en los Estados Unidos de Norteamérica e Inglaterra. Su empleo se redujo a la construcción de viviendas populares de bajo costo y en algunas partes, en edificios y monumentos.

En los Estados Unidos se utilizó un concreto con agregados de arcilla expandida en la construcción de barcos durante la -- Primera Guerra Mundial, así como también en la fabricación de bloques del mismo material. Fué hasta 1950 cuando se empezaron a usar los agregados ligeros formalmente, aunque únicamente se usaban en bloques para muros que no fueran de carga. Un poco más tarde se utilizó por fin para estructuras sujetas a carga. Todo esto debido a la mejor calidad del concreto obtenido con los -- agregados ligeros artificiales.

Los agregados ligeros artificiales se usan en la fabricación de concreto para uso estructural, en sustitución de los -- agregados de peso normal.

El primer uso de los agregados ligeros en concreto ligero estructural data de 1918. Desde entonces, su aplicación se ha incrementado grandemente y se ha difundido en todo el mundo.

Entre los principales países consumidores de los agregados ligeros, se encuentran Estados Unidos, La Gran Bretaña, Alemania, Suecia, Holanda, Japón, La U.R.S.S., Francia y algunos otros más.

La razón principal del éxito de este material radica en la alta resistencia a la compresión que tiene y a la relativa baja densidad, factores determinantes en la construcción de estructuras muy altas que requieren de una disminución en peso, sin perder resistencia.

La densidad del concreto hecho con estos agregados ligeros, varía entre 1500 y 1840 Kg/M<sup>3</sup> que representa un 12 a 30% menos que el concreto hecho con agregados naturales.

La resistencia a la compresión en concretos estructurales hechos con agregados ligeros, es casi igual a la que se obtiene en concretos hechos con agregados naturales.

Los concretos ligeros estructurales sufren una mayor deformación por compresión, tienen un modulo de elasticidad menor que el concreto normal, pero tiene otras ciertas ventajas como lo es un mejor comportamiento bajo condiciones sísmicas, menor susceptibilidad a los efectos de fuerzas deformativas dañinas (asentamiento de los soportes, efectos térmicos, etc.) y un apreciable bajo coeficiente de conductividad térmica.

Hay que hacer notar que el concreto fabricado con agregados ligeros artificiales, va a tener una menor variabilidad y una mayor uniformidad en sus propiedades físicas y mecánicas. Esto es debido a que los agregados artificiales producidos por un proceso de manufactura industrial tienen propiedades físicas constantes por el control de calidad que se lleve en cada fábrica.

El alto costo de los agregados ligeros se compensa con la reducción de tamaño de los componentes estructurales y por el ahorro de acero de refuerzo. La reducción de los pesos muertos ahorra también en costos en estructuras falsas y cimentaciones. Como se puede ver, el incremento en el costo de una buena calidad de los agregados naturales y la frecuente dificultad para obtenerlos, hace de los agregados ligeros un material cada vez más competitivo.

A continuación se enlistan algunos usos del concreto hecho con agregados ligeros:

- Construcción de edificios de gran número de niveles.
- Estructuras cimentadas en subsuelos difíciles.
- Estructuras prefabricadas.
- Cubiertas en claros más grandes.
- Estructuras incluidas en concreto arquitectónico para interiores y exteriores de los edificios y estructuras ensambladas de tableros prefabricados de concreto.
- Estructuras para resistir terremotos.
- Estructuras para alta resistencia al fuego.
- Puentes con claros muy grandes.
- Estructuras flotantes.

Los agregados ligeros varían grandemente según su origen, y se puede hacer la siguiente clasificación general:

a) Agregados Naturales de origen volcánico.

Pomocita

Escorias Volcánicas

Puzolanas

b) Agregados Artificiales obtenidos como subproductos de procesos industriales:

Escoria de hulla de hornos

Escoria de altos hornos

Cenizas de combustibles en polvo sinterizado

c) Agregados ligeros manufacturados.

Arcillas expandidas

Pizarras expandidas

## II.- A R C I L L A S .

La arcilla es una substancia muy común y se encuentra en un gran número de tipos y variedades. se usa en todos los países del mundo para fabricar un amplio rango de productos.

La literatura de arcilla y sus productos es extensa, pero está llena de discusiones, conflictos y opiniones inadecuadas.

Una exposición completa de las fases económicas y comerciales de la arcilla en todas sus formas y para todos sus usos, requeriría de muchos volúmenes, por lo que el tratamiento que aquí le daremos consistirá de una breve descripción é incluirá muchos estados generalizados.

No se puede dar una definición exacta de la arcilla, ya que hasta el momento las autoridades en la materia han tenido divergencias en su punto de vista; sin embargo, a continuación daremos lo que más se puede asemejar a una definición en un concepto muy general.

La arcilla es una substancia mineral, la cuál se encuentra en un estado natural finamente dividido ó producido por molienda. Cuando se mezcla con una cantidad de agua apropiada, es plástica; puede ser moldeada y retener su forma aún después de ser secada.

Cuando se calientan a temperaturas altas, las partículas pierden su agua química de combinación lo suficientemente suave para unirse y formar una masa rocosa después de enfriada.

La mayoría de las arcillas consisten de una mezcla de diferentes minerales, pero en los cuales predominan los conocidos como arcilla base o substancia base, que corresponde al mineral caolinita, a similares hidruros silicato-aluminosos, a montmorilonita y a illita. En adición a los hidruros silicato-aluminosos base, hay comunmente presente en cantidades variables, una gran cantidad de minerales de los cuales algunos de los mas usuales son: cuarzo, feldespato, ilmenita, sales solubles alcalinas, etc., junto con materia orgánica y agua.

Composición: Las arcillas varían ampliamente en su composición química y mineralógica, pero en sus fases puras, como se describió anteriormente, se aproxima a la composición de la caolinita y a veces a otro tipo de mineral, tal como la halosita, illita o' a la montmorilonita.

Se conoce ahora mucho más sobre la composición y estructura de las arcillas, debido a la investigación empleada con técnicas recientes, entre las cuales se encuentran los rayos X, los análisis térmicos y el microscopio electrónico.

A continuación daremos algunas composiciones químicas de los compuestos más conocidos y generalizados.

Caolinita - - - - -  $Al_2O_3 \quad 2Si \quad O_2 \quad 2H_2 \quad O$

Hallosita - - - - -  $Al_2O_3 \quad 2Si \quad O_2 \quad 4H_2 \quad O$

Illita - - - - - Un complejo hidruro silicato de Al, Fe, Mg y K.

Montmorilonita - - - - - Un complejo hidruro silicato de Al, Mg y Na.

El porcentaje de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  en la caolinita, es el siguiente:

$\text{Al}_2\text{O}_3$	-----	39 %
$\text{SiO}_2$	-----	46.3%
$\text{H}_2\text{O}$	-----	12.9%

Generalmente se encuentra como un granulado muy fino, es un material blanco ligeramente plástico, con un punto de fusión cuando está puro, de  $1850^\circ\text{C}$ , pero este se disminuye materialmente por los pequeños aumentos en las impurezas; tiene un comportamiento suave y ligeramente jabonoso. En común con todas las arcillas, tiene un olor característico, particularmente cuando se humedece.

El término caolín es usado para referirse a los grados de las ligeras impurezas que contienen las arcillas no plásticas blancas que alcanzan a acercarse a la composición de la caolinita.

Los verdaderos caolines están generalmente referidos a los que se encuentran en depósitos residuales.

La composición química de una arcilla es una pequeña indicación de sus propiedades físicas o de sus valores en una forma muy general.

Un análisis químico puede revelar la presencia de impurezas que podrían ser dañinas para algunos usos, pero la presencia de tales impurezas puede ser usualmente detectada por inspección ó por simples pruebas físicas o químicas.

Sin embargo, el análisis puede no revelar tales impurezas y entonces, se le podría efectuar alguna prueba de tipo cerámico, la cual comprobaría que dicha arcilla no es aceptable para el uso que se le pensaba dar.

En conclusión, hay una larga fila de minerales arcillosos de interés científico pero limitado a la importancia industrial. Entre ellos, pueden ser mencionados la Anauxita, Beidilita, Montmorilonita, Dickita, etc.

#### Origen de las Arcillas.

Las arcillas depositadas son de dos tipos generales: Residual y Sedimentario. En todos los casos, la arcilla es de origen secundario, que significa que se formó por la alteración de algunas rocas.

Los depósitos residuales están formados por la descomposición de una roca. Esta alteración puede ser de dos formas, una envolviendo un cambio químico resultante en la formación de la arcilla, y el otro envolviendo una simple solución de una roca conteniendo impurezas arcillosas y la descomposición consecuente de la arcilla insoluble. Los depósitos residuales de arcilla del primer tipo son usualmente formados por la alteración química y desintegración física de feldespatos, pigmatitas, granitos y otras rocas feldespáticas.

De la alteración de feldespatos puros, resultará un caolín puro, y de la alteración del granito resultará una mezcla de caolín, sílica y mica, junto con otras impurezas originales del - -

granito. Cuando una caliza de alto contenido de  $\text{Ca CO}_3$  como impureza arcillosa, se disuelve y se remueve por agua corriente; la arcilla se queda como un depósito residual. Esta arcilla sin embargo, fué formada originalmente por la alteración de una roca feldespática transportada por agua y redepositada por granos diseminados en las camas de material calcáreo que después forman la caliza.

No se encuentran grandes depósitos de arcillas residuales cuando se forman por erosión glacial ó de agua corriente en épocas geológicas recientes.

Los depósitos de arcillas sedimentarias ó transportadas pueden haber sido formadas por:

- 1.- Transporte de agua corriente.
- 2.- Deposición de hielo ó agua glacial (estos depósitos frecuentemente contienen mucha piedra y son conocidas como arcillas arrastradas ó de canto rodado).
- 3.- Transporte de viento (depósitos de arcilla de grano muy fino, frecuentemente calcáreos).
- 4.- Combinación de cualquiera de los tres casos.

Después de la sedimentación, las arcillas pudieron haber sido sujetas a presión suficiente como para consolidarlas en algún grado. Esta consolidación usualmente en forma laminar, es la conocida como pizarra.

Se ha determinado que los movimientos adicionales de los minerales arcillosos después de la formación de la arcilla, puede causar cambios que tienden a incrementar la complejidad de la arcilla.

El comportamiento de una arcilla para un uso específico depende de su naturaleza, la cantidad de impurezas presentes, sus propiedades físicas y de su composición química.

### Impurezas principales.

Algunas de las impurezas principales más comunes que ejercen una importante influencia sobre el comportamiento de las arcillas, se describen a continuación:

Compuestos de fierro, tales como óxidos, limonita y hematita, los carbonatos, el sulfito y la pirita, actúan como -- agentes colorantes y como fundentes.

La caliza presente como carbonato, como un silicato ó como un sulfato (yeso), es usualmente considerado como impureza dañina para muchos usos.

Compuestos de los alkalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ), casi siempre están presentes y son los más poderosos fundentes. La vitrificación es imposible si no se encuentran presentes.

Los compuestos de manganeso raramente están presentes y su acción es colorante únicamente.

Agua.- Está presente en dos formas, como agua de unión mecánica (humedad), y como agua química de combinación.

El agua mecánica tiene una importante influencia en la contracción y ruptura por secado.

El agua de combinación en exceso, da un alto índice de ruptura por contracción y tiende a causar rajaduras y rupturas.

Materia carbonácea.- Dá un color gris ó negro y la arcilla como materia prima. Puede causar expansión en el quemado.

Sales Solubles.- Usualmente sulfatos y algunas veces, substancias colorantes.

### Propiedades Físicas.

Plasticidad.- Es una de las propiedades esenciales de la mayoría de las arcillas. Es aquella particularidad de ciertas substancias por las cuales su forma puede ser cambiada por presión, sin ruptura. La forma se mantiene después de que se ha eliminado la presión. La causa de la plasticidad no se conoce, pero ha sido materia de investigación y controversia.

La textura o finura del tamaño de la partícula ejerce una importante influencia en las propiedades físicas, tales como la plasticidad, contracción y porosidad.

Cohesión.- Es aquella propiedad la cual causa que la masa de la arcilla se adhiera y permanezca en una forma determinada - cuando se le aplica una presión.

Contracción por secado.- Cuando las arcillas se secan, siempre se contraen en un mayor ó menor rango, y debe considerarse esto cuando se hace un artículo de tamaño y forma definida. Una gran contracción causa frecuentemente la distorción y ruptura.



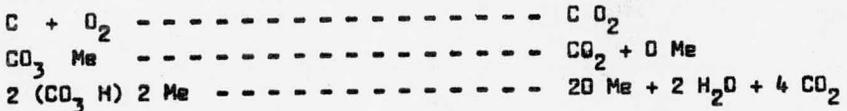


En el caso de la dolomita, las reacciones son:



Se encontró también que otra causa fundamental de la expansión, es la generación de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) producido por la descomposición térmica de la calcita ( $\text{Ca CO}_3$ ).

Existen también algunos compuestos naturales que sirven como aditivos para ayudar al fenómeno de expansión entre los cuales se cuentan carbón, carbonatos, piritas, hematitas, aceites pesados, los cuales aparte del efecto que estos materiales puedan tener en la fusibilidad de la arcilla, su principal efecto es el desprendimiento de  $\text{CO}_2$ .



Se han encontrado valores promedio en la composición química de las arcillas dentro de las cuales deben caer las arcillas con buen poder de expansión.

$\text{Al}_2 \text{O}_3$	- - - - -	16 - 20 %
$\text{Si O}_2$	- - - - -	50 - 65 %
$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	- - - - -	5 - 9 %
$\text{Ca O}$	- - - - -	1 - 4 %

Mg O	-----	1.5 - 3.5 %
Alcalis	-----	1.5 - 4.5 %
S O <sub>3</sub>	-----	0 - 1.5 %
S	-----	0 - 1.5 %
Material perdido por Ignición	-----	6 - 8 %

Esta tabla se resume en un diagrama terciario de Riley y Milson, donde describen las zonas teóricas de expansión de las arcillas. (Figura No. 1)

#### Comportamiento durante y después del Quemado.

Cuando una arcilla es calcinada, toman lugar un número de cambios, algunos físicos y otros químicos. Las temperaturas a las cuales ocurren estos cambios y las propiedades del producto final son factores muy importantes que deben tomarse en cuenta.

El periodo de deshidratación.- Es el periodo inicial del proceso de quemado durante el cual el agua de combinación es eliminada.

El periodo de Oxidación.- Es el segundo periodo que se alcanza a medida que se incrementa la temperatura; durante este periodo se elimina la materia orgánica, el azufre, el C O<sub>2</sub> y el óxido ferroso cambia a férrico.

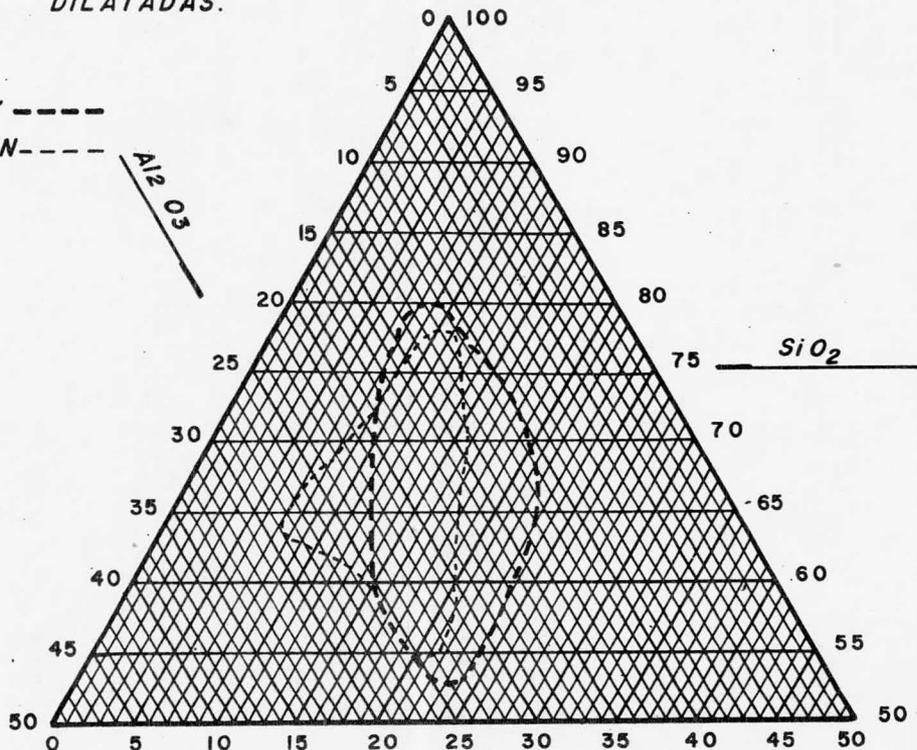
El periodo de Vitricación.- Este periodo sigue al de oxidación, a medida que se incrementa la temperatura.

La vitricación es el resultado de la destrucción completa de la textura original de la arcilla y de su estructura formada por una fusión parcial y por reacción química entre sus constituyentes.

VALORES PRACTICOS PARA LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS  
ARCILLAS DILATADAS.

1.- RILEY - - - -

2.- WILSON - - - -



(Fundentes)  
( $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $CaO$ ,  $H_2O$ ,  
 $NO_2OK_2O$ )

Fig.-1. Diagrama de Riley y Wilson.

La temperatura de vitrificación y el rango de la misma, que es el rango de temperatura entre la vitrificación incipiente y el punto de viscosidad o fusión completa a una masa suave y viscosa, son factores de gran importancia. Si un producto necesita ser vitrificado y el rango de vitrificación es bastante estrecho, podría en un cierto momento, ser imposible controlar la temperatura de un horno.

61060



400282

### III.- Origen y Manufactura de los Agregados Ligeros.

#### Agregados Naturales.

El enfriamiento de las rocas eruptivas formadas por materia fundida de la corteza terrestre, dió origen a los agregados ligeros naturales de origen volcánico. Dichas rocas difieren en sus propiedades, dependiendo de su composición química, de la fluidez de la lava de la cual se formaron y del modo de enfriamiento.

Los principales agregados ligeros de origen volcánico comprenden varios tipos de pomecitas, puzolanas y escorias volcánicas.

La pomecita se formó por el enfriamiento repentino de materia volcánica (cuando el material fundido era arrojado al agua de algún lago o mar cercano.)

Tiene una apariencia esponjosa, (debido al rápido escape de los gases), casi una estructura vidriosa y más o menos cavidades grandes. Es una roca ligeramente grisácea, parda ó amarillenta, con un peso volumétrico seco suelto de 500 a 900 Kg/m<sup>3</sup>.

La pomecita se obtiene en canteras ó depositos que tienen aproximadamente 30 m. de espesor. El material se pasa a un proceso de triturado y se clasifica después en diferentes tamaños, de 0 a 8 mm. y de 8 a 15 mm., quitandole todas las partículas muy finas.

La pomecita es una roca muy suave, por lo que no es recomendable para concretos estructurales de alta resistencia.

A continuación se dá una tabla que nos proporciona datos de su composición química:

## C O N S T I T U Y E N T E S

ORIGEN	Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca O	+ Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O
FRANCIA	70%	15%	1 %	1 %	8 %
ALEMANIA	55%	22%	3 %	2 %	11%

Las puzolanas fueron formadas por cristalización de magma volcánico, el cual sufrió un enfriamiento paulatino. Es un material de escoria volcánica, con una estructura celular que comprende huecos lineales largos e irregulares producidos por una expansión moderada de los gases de escape que además aumentaron su tamaño. Es una roca alcalina sílico aluminosa, con un color café pardo, hasta negro.

En la siguiente table se dán algunos datos sobre su composición química:

## C O N S T I T U Y E N T E S

ORIGEN	Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca O	+ Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O
FRANCIA	46%	20%	12%	9 %	5%
ITALIA	59%	21%	1%	4%	9%
ITALIA	58%	18%	4%	3 %	12%
ITALIA	58%	18%	7%	10%	5%
ITALIA	45%	17%	11%	10%	8%
AUSTRIA	57%	17%	3%	0%	3%

Las rocas se obtienen de canteras. Algunas veces, se tratan por lavado para remover algunas impurezas en ellas, después son trituradas y clasificadas en diferentes tamaños: de 0-4, 7-15 y 15-25 mm.

Agregados Artificiales obtenidos como Subproductos de Procesos Industriales.

Escoria de hulla de los hornos.- Es el residuo de la combustión de carbón en sistemas industriales.

Tiene un color oscuro, son duros y tienen apariencia de material sinterizado.

Estas escorias tienen muy poco uso como agregados ligeros debido al alto contenido de impurezas en ellas (sulfitos, sulfatos, etc), ya que muchas veces este material no se quema totalmente. Estas impurezas pueden ser dañinas para el concreto hecho con estos agregados.

Este material también se tritura y se clasifica en diferentes tamaños. Muchas veces se almacena a la intemperie por mucho tiempo para eliminar las contaminaciones por lavado natural.

Escorias de altos hornos.- La escoria es un subproducto de la manufactura del hierro en hornos de tiro. La escoria que flota en el hierro fundido, se separa del metal para ser procesada.

La escoria se puede tratar de varias formas: puede ser enfriada lentamente en agua para dar una escoria granulada que se usa en la manufactura de cemento de escoria de altos hornos.

La escoria fundida con una temperatura entre 1400 a 1500°C fluye hacia unos moldes bajo los cuales se instala un sistema de distribuidores de agua que la inyectan a la escoria.

También se puede usar vapor ó aire comprimido. El vapor producido ó inyectado en la escoria, produce numerosas burbujas las cuales causan una expansión en ella. Una vez fría, la escoria es una roca artificial con una estructura celular parecida a la de algunas puzolanas ó pomecitas naturales.

La escoria espumoza como se le llama a este material, tiene un color gris oscuro, con una textura superficial rugosa e internamente los poros están en forma de panal. Se recolecta con palas mecánicas y se almacena en pilas clasificadas en tamaños diferentes: de 0-3, de 3-10, de 10-15 y 10-20 mm.

Su peso volumétrico suelto a granel, varía entre 600 a 900 Kg/M<sup>3</sup>

Las escorias se fabrican principalmente en los Estados Unidos, Inglaterra, Alemania y Austria. Es un proceso económico, ya que la materia inicial no tiene que calentarse. Estos materiales son completamente inertes.

Cenizas sinterizadas de combustible en polvo.- Las cenizas volátiles como se les conoce, son el residuo de la combustión del carbón pulverizado usado como combustible en estaciones térmicas de poder. Las cenizas se recolectan por medio de filtros o en precipitadores electroestáticos.

Es un material seco que se ha calentado a 1400°C y en - friado rápidamente con aire.

Las cenizas volátiles son de color gris negráceo, con partículas que van desde 1 a 200 micras y que tienen una área superficial específica, de 2500 a 4000 cm<sup>2</sup>/gr.

Las partículas son delgadas y huecas ó esferas sólidas, formadas principalmente por silicatos vítreos. En la siguiente tabla se dá la composición química promedio de estos materiales.

Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca O	Mg O	Na <sub>2</sub> O K <sub>x</sub> O	SO <sub>3</sub>	Pérdidas por Ignición
48	32	8	2	2	4.5	0.5	2

Estos materiales se pueden usar como aditivos para el producto que sale de los hornos de cemento, que es conocido con el nombre de Clinker, para la fabricación de cementos de cenizas volátiles ó cementos puzolánicos.

El peso volumétrico suelto a granel, varía entre 650 y 850 Kg/M<sup>3</sup>

#### Agregados Artificiales producidos Industrialmente.

Los materiales en cuestión, son arcillas ó pizarras expandidas.

Arcillas Expandidas.- Es indudable que en los últimos años, la manufactura de los agregados ligeros artificiales se ha extendido grandemente en el mundo. Bélgica, Inglaterra, Canadá, Dinamarca, Alemania, Holanda, Japón, Estados Unidos, y La U.R.S.S., están dentro del grupo más grande de consumidores de este material.

El principio de su manufactura se ha conocido desde 1918 cuando un americano llamado S.J.Hyde puso la primera unidad productora de Arcilla Expandida considerada como industrial.

El proceso de manufactura difiere de una fábrica a otra. La arcilla que puede contener de un 10 a 20% de agua, es extraída de canteras con la ayuda de palas mecánicas, y después son llevadas al área de almacenamiento. Las arcillas son compuestos esencialmente de sílice, alúmina y óxido de hierro, aunque estos compuestos varían grandemente de un tipo a otro. La siguiente tabla nos dá una idea de su composición química.

Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca O	K <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> O
55 a 65%	15 a 20%	5 a 10%	1 a 5%	1 a 5%

Algunas arcillas expanden durante la calcinación. Esta expansión empieza debido a la producción de gases (CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>), mientras que otras arcillas necesitan agentes expansores, (hidrocarburos pesados, coke, sulfatos, carbonatos, etc.) y algunos fundentes.

La expansión depende no únicamente de la naturaleza de las arcillas y de los aditivos que algunas veces necesitan, también dependen de la velocidad de calcinación y la temperatura del ciclo. Más adelante hablaremos del proceso de fabricación.

#### IV.- PROCESO DE FABRICACION .

La expansión de las arcillas se debe a un desprendimiento gaseoso producido en la misma materia arcillosa. Como consecuencia del aumento de la temperatura, dicha materia se vuelve viscosa y se produce en ella reacciones químicas que provocan desprendimiento de gases ( $\text{CO}_2$ , CO, Anhídridos Sulfurosos y Sulfúricos,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ , etc.)

Estos gases dan como resultado de su formación una estructura celular en la materia.

Se forma en este proceso un estado piropástico en la arcilla en la cuál interviene la viscosidad y la tensión superficial de la masa en vía de fusión. Este estado es aprovechado por los gases formados en la materia para expandir el material. Debe existir en el momento de la expansión suficiente material fundido capaz de llenar los poros existentes e impedir el escape de los gases. El material fundido debe además ser suficientemente viscoso como para impedir que el gas escaparse por el burbujeo.

Para que suceda la expansión, se requiere de las siguientes condiciones:

La presencia en cantidades suficientes dentro de la arcilla, de productos minerales y orgánicos susceptibles de provocar desprendimientos gaseosos a la temperatura de fusión.

La aparición de una temperatura determinada en una fase de fusión cuya viscosidad sea suficientemente alta para poder retener los gases que se escapan.

Por último, la vitrificación en la superficie exterior del grano, debe ser suficiente para que dicho cascarrón este totalmente cerrado y sin poros.

### Descripción del Proceso.

El proceso de manufactura de las arcillas expandidas está dividido en:

- Preparación de la materia prima
- Preparación de los módulos o granos
- Quemado ó Calcinación.

La primera operación es muy conocida, ya que se utiliza en las fábricas para la elaboración de productos de barro cocido. Sucesivamente tenemos:

- Extracción de la arcilla en cantera.
- Transportación de estos productos hacia las fábricas de tratamiento.
- Trituración (ocasionalmente se agrega un aditivo)
- Conservación de los productos en la humedad.

La segunda operación puede consistir en la elaboración de nódulos. En ciertos procesos, esta fase no existe, ya que la transformación de la materia prima en nódulos hace, ya sea automáticamente en un horno rotatorio (después de introducir la arcilla laminada), o bien, después del cocimiento por trituración (horno de rejilla).

En todos los otros procesos, se pueden utilizar dos métodos: el del Proceso Húmedo y el del Proceso Seco.

El proceso húmedo consiste en una operación de extrusión. La arcilla se pasa sucesivamente a través de molinos de rodillos y después a un molino mezclador. En estas operaciones, el agua se adiciona en cantidades suficientes para lograr una pasta muy fina de consistencia plástica y uniforme. También se pueden -- agregar aquí aditivos expansores o fundentes. La pasta se fuerza a pasar por unos troqueles a base de presiones altas para lograr la extrusión.

El contenido de humedad de la arcilla para esta operación está entre 20 y 30%

El material que pasa por un troquel tiene forma de tiras cilíndricas que son cortadas en pequeños cilindros automáticamente por medio de hilos de acero que giran a alta velocidad. El diámetro de los nódulos es igual al de los agujeros del troquel.

El material que sale de los troqueles es alimentado a secadores rotatorios si se desea dar forma redonda a estos pequeños cilindros. También se puede alimentar directamente a hornos rotatorios en los cuales la primera zona es de precalentamiento y hace las veces de un secador rotatorio.

Este proceso es cada vez más usado, ya que permite un mejor control sobre el tamaño de los agregados y la pérdida de material es muy pequeña.

Para el Proceso Seco, la arcilla que se obtiene de las canteras se tritura, se muele, se seca y se almacena en silos homogeneizadores. De aquí se alimenta a un aparato granulador el cual mediante una pulverización de agua en la arcilla que se alimenta, utiliza la propiedad que tienen estos polvos para aglutinarse en pequeñas esferas cuando se humedecen y forman gránulos de diferentes tamaños.

Este aparato granulador se compone de una charola ó plato rotatorio que gira sobre su propio eje y con una cierta inclinación. El material granulado que sale de aquí se manda a secadores ó precalentadores para después pasarlos a los hornos de quemado.

La tercera operación consiste en el quemado de estos materiales. Esta operación se puede llevar a cabo en hornos de tipo rotatorio, de parrillas ó verticales fijos.

El tipo más común es el de hornos rotatorios; estos tipos de horno miden aproximadamente 3 ó 4 mts. de diámetro, y de 20 a 80 mts. de longitud. Pueden ser de un solo elemento ó de varios. Estos elementos suelen estar en línea horizontal o ligeramente inclinados; si son de dos ó más elementos, pueden o no girar a velocidades diferentes arreglados en forma coaxial.

En general, estos hornos tienen ventajas y desventajas. Algunas de las ventajas son:

Permiten la fabricación de gránulos relativamente esféricos sin la necesidad de una operación anterior.

Son sencillos en su manejo.

Las posibilidades de recuperación de calor por las altas temperaturas son buenas.

Para ciertos hornos, se facilita el dominio de los fenómenos de expansión, etc.

Algunos de sus inconvenientes son:

Para los hornos de un solo elemento: su longitud, su falta de posibilidad de control y acción sobre los diferentes fenómenos, su gran superficie de radiación, etc.

Para los hornos de dos ó más elementos coaxiales:

Problemas de impermeabilización entre los hornos, mecanismos delicados cuando los hornos trabajan a diferentes velocidades, etc.

Hornos de Parrilla Móvil: Estos hornos constan de bandas transportadoras anchas con reja de acero a través de la cual circula aire. Los materiales que se van a calcinas se extienden en esta reja en una cama de 30 cm. aproximadamente de espesor. Esta banda avanza hacia la zona de calcinación, en donde se encuentran unos quemadores verticales que calcinan el material conforme va pasando. Para lograr un mejor resultado, se crea una fuerte succión de gases calientes bajo la rejilla en el plano vertical de los quemadores.

De esta forma se obtiene una calcinación profunda debido a la formación de una cortina de fuego que atraviesa la cama y la banda transportadora.

**Horno Vertical.**- El horno vertical se asemeja a un silo. Tiene un diámetro interior de 2.5M. y una altura interior de 10 M. Se compone de un silo de almacenamiento, un silo de llenado, una zona circular de calcinación y un dispositivo para alimentarlo. En la descripción del proceso se explicará mas detalladamente.

El proceso que ocupa este estudio, corresponde al Proceso Seco, y el quemado del material se lleva a cabo en un horno de tipo vertical intermitente como el último descrito.

A continuación se describe el proceso detallado de fabricación del Agregado Ligero Sintético ó Artificial el cual se refiere este trabajo.

En la figura No. 2 se puede ver un diagrama del proceso desde su inicio hasta su terminación.

#### M A T E R I A P R I M A .

La materia prima que se recibe en la planta es una arcilla triturada que ha sido secada previamente y que tiene un contenido de humedad entre 10 y 16% y una granulometria promedio como la que sigue:

Malla	Abertura mm.	% Retenido Individual
3/8	10.9	2.0
4	4.76	7.0
8	2.36	9.8
16	1.7	12.3
30	0.6	17.2
50	0.30	17.5
100	0.15	12.0
200	0.075	12.1
Ch.	- . -	10.

1 Tolva de Alimentación y Quebradora.

2 Bandas Transportadoras.

3 Tolvas de Almacenamiento.

4 Molinos.

5 Platos Granuladores.

6 Clasificador.

7 Secador.

8 Elevador de Canchales.

9 Hornos.

10 Almacen de Producto Terminado.

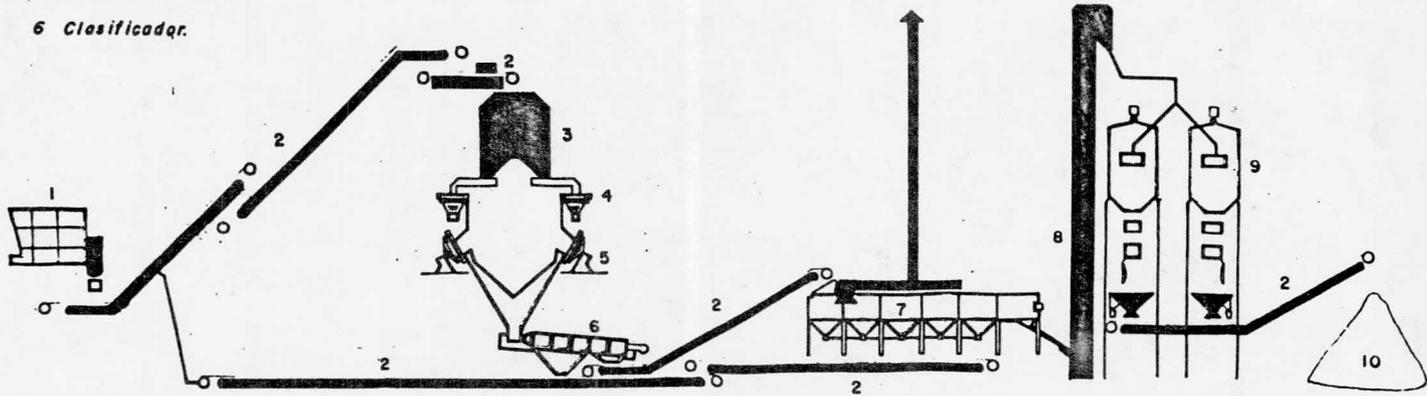


Fig.-2. DIAGRAMA DE PROCESO.

La composición química promedio es :

Si O <sub>2</sub>	- - - - -	50.7 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- - - - -	22.6 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- - - - -	5.2 %
Ca O	- - - - -	4.2 %

Esta arcilla se almacena a la intemperie.

La materia prima se alimenta en una tolva dosificadora. La arcilla es transportada por una banda metálica de placas con control de velocidad variable, En este mismo paso se adiciona en porcentajes muy pequeños, el aditivo expansor, que es un aceite pesado.

Esta cantidad se alimenta con un sistema de espreas controladas por presión monométrica. Aquí pasa por un mezclador de aspas que sirve de homogenizador del aceite en la arcilla. Una vez homogenizada, pasa a una quebradora de rodillos con cuchillas.

La materia prima se transporta por medio de bandas hasta la zona de molienda.

#### M O L I E N D A .

Molienda.- La arcilla que se alimenta a los molinos debe ser dosificada por una báscula automática. Los molinos son de discos giratorios centrífugos con una capacidad de 10-25 ton./hr. Estos molinos pueden moler a diferentes finures.

La alimentación a estos molinos se efectúa mediante dosificadores, tales como bandas alimentadoras con regulador de velocidad para controlarlas.

El material a moler pasa axialmente sobre un disco de molienda de giro rápido (40-70 M/seg.), el cual está equipado con un cono de aspas de introducción y en la periferia con anillo de molienda dentado. El material a moler es lanzado mediante grandes fuerzas centrífugas entre el disco de molienda giratorio y otro fijo situado encima del giratorio. La superficie de molienda es aproximadamente de  $3500 \text{ cm}^2/\text{gr}$ .

El material sale de la superficie de molienda por un canal de evacuación el cual es lanzado el material molido. Este está formado por un fondo y una pared lateral giratorios a modo de un alimentador, dirigido por lengüetas extractoras, el material sale de la máquina por un orificio lateral.

El control de la finura de molienda se efectúa mediante el ajuste de la distancia entre el disco de molienda y el giratorio.

La finura de molienda depende de la consistencia del material a moler y se encuentra en el orden de 0.5 mm. hasta el material muy fino.

A medida que los elementos de molienda se van gastando, hay necesidad de hacer un ajuste en la distancia de disco a disco, ya que al irse agrandando, la finura de molienda cambia.

Debido a esto, es necesario comprobar con frecuencia la granulometría obtenida del material de salida, que debe ser como sigue:

Malla	Abertura mm.	% Retención
30	0.6	0 - 15
50	0.3	8 - 12
100	0.15	16 - 24
Ch.	- . -	76 - 52

La finura es determinante en la siguiente operación, como veremos a continuación.

El material que sale de los molinos cae por una tolva hacia los platos granuladores. Estos dispositivos son esencialmente charolas de 3m. de diámetro y con 0.5 m. de profundidad, que giran sobre su propio eje a un determinado número de r.p.m. y con un cierto ángulo de inclinación. Su capacidad varía entre 5 y 15 ton./hr de producción.

### GRANULACION.

En esta operación se aprovechan varios fenómenos que nos van a dar la formación de la esfera y él o los tamaños necesarios. Se aprovecha la propiedad que tienen las arcillas de aglutinarse cuando se les agrega agua, por lo que existe un sistema de espesas que están distribuyendo agua sobre la cama de arcilla en forma constante. Se aprovecha también la fuerza centrífuga que hace que la arcilla y los gránulos pequeños formados suban hasta el punto más alto del plato y rueden hacia abajo sobre la cama de arcilla en una corriente uniforme. Su tamaño aumenta por adherencia del polvo en los gránulos húmedos. En la figura No. 3 se puede apreciar un sistema de molienda y granulación conjuntamente, y en la figura No. 4, el movimiento que sigue un gránulo dentro del plato granulador.

El tamaño de los gránulos está determinado por el flujo del material, la velocidad de giro del plato, el tiempo de permanencia del producto en el plato y el líquido adicionado.

- 1 Cinta Transportadora reversible con Buscador de Metales.
- 2 Plato Alimentador.
- 3 Molino Centrifugal de Discos Planos.
- 4 Plato Granulador.
- 5 Cinta Transportadora.

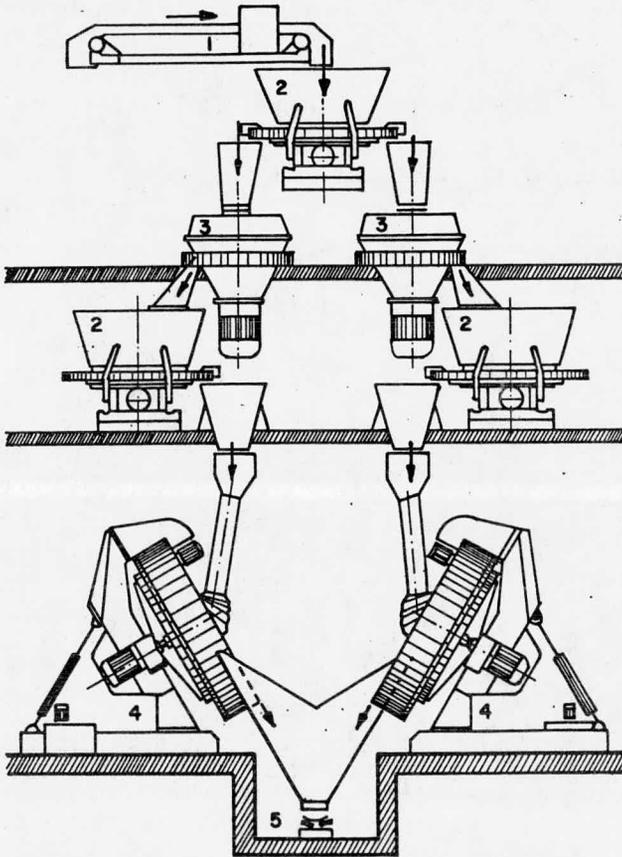
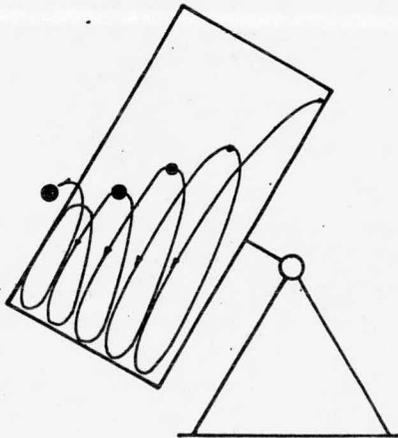
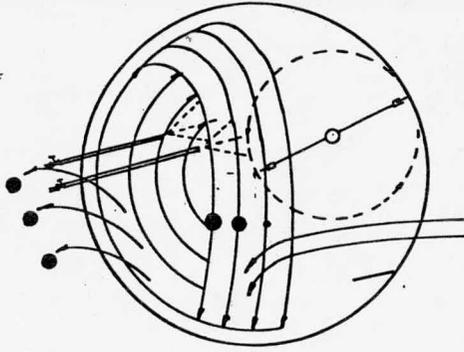


Fig.-3. Diagrama de Molienda y Granulación



*Fig- 4. Líneas de Movimiento del Material en el Plazo Granulador.*

El tiempo de permanencia está en dependencia de la altura del borde del plato; Esta altura se regula mediante la inclinación del mismo.

En el momento que el plato giratorio en su posición inclinada se llena, se produce un rebose debido a la constante adición de nuevo material. Los gránulos mayores son evacuados por encima del borde del plato. Por este efecto de clasificación natural, el material terminado tiene un tamaño bastante uniforme.

El peso a granel, la densidad ó porosidad de los gránulos, se puede controlar algunas veces dentro de determinados límites. Esto depende del espesor de la capa de material y de la cantidad de líquido adicionado. Una capa baja de material en el plato produce una presión más baja en la formación de los gránulos. Estos se forman más flojos y son mas porosos.

El agua para granular se adiciona por asperción en un punto determinado de la corriente del material; cada materia prima requiere de una determinada cantidad de líquido, la cual se necesita para lograr un granulado óptimo. Si la cantidad de agua que se adiciona es inferior a este valor crítico, es imposible la granulación o bien, estos son quebradizos de tal forma que se deshacen al mínimo esfuerzo.

La humedad excesiva provoca adherencia masiva de los gránulos, provocando material de tamaño bastante más grande al que se requiere. El manejo de los gránulos exige resistencia a la presión y a la fricción entre los gránulos mismos y con el equipo.

La dureza de los gránulos está influida por los siguientes factores: efecto de compactación, líquido adicionado, tiempo de residencia y finura del material a granular.

La finura es de suma importancia en el proceso de granulado, de tal forma que si el material a granular viene grueso, es muy tardado y difícil de granularlo, debido a la ausencia de polvos que se adhieran a los gránulos pequeños ya formados.

Si por el contrario, se tiene un exceso de material fino, se lleva mucho tiempo el humedecerlo para después granularlo; este efecto hace que todo el material que empezaba a granularse salga del plato aunque no hubiera alcanzado todavía el tamaño requerido.

La inclinación del plato, el tamaño del mismo, su velocidad de giro, la cantidad de líquido y el flujo del material, son todos los factores que influyen en la formación de los gránulos. La granulometría promedio que se requiere del granulado en esta operación, es la siguiente:

Malla	Abertura mm.	% Retenido
3/8	9.5	0 - 0
4	4.75	80 - 100
8	2.36	20 - 0

La eficiencia de estos aparatos es de 90%, el resto lo dan los tamaños más grandes o más chicos de estos límites.

### S E C A D O .

El secado se lleva a cabo en un secador de banda metálica, que transporta el material por la cámara de secado a una velocidad constante. El secador tiene una longitud, un ancho y un espesor de cama que son los necesarios para lograr un secado muy eficiente.

Se utilizan para esta operación los gases de combustión que salen del horno, los cuales son enfriados en un recuperador de calor hasta una temperatura de 600°C y después son mezclados con aire fresco hasta alcanzar una temperatura de 300°C.

El granulado que sale del secador debe tener una humedad máxima de 1.5%, ya que un contenido mayor nos provocaría que el material reventara en el quemado, debido a la rápida salida del agua en forma de gas.

### QUEMADO O CALCINACION.

El material que sale del secador es conducido por un elevador de canchilones hasta el lugar donde se calcinará. En este punto es pasado por un clasificador Vibratorio para eliminar los tamaños que difieren de los especificados. Se pasa entonces a un silo de almacenaje el cual estará surtiendo a un dosificador volumétrico que pasará el material al interior del horno de calcinación.

El horno es vertical, semejante a un silo con un diámetro de 2.50 m. y una altura interior de 8 mts. Está recubierto interiormente con ladrillo refractario y aislante para conservar la temperatura e impedir pérdidas de calor por conducción, convección y radiación. Tiene en la parte inferior una compuerta en donde se alojan los quemadores, que abre y cierra automáticamente. Cuenta también con un silo de almacenamiento y un dosificador volumétrico.

Las partículas esféricas previamente secadas pasan del silo de almacenamiento al dosificador; se introduce intermitentemente una cantidad medida por volumen al horno.

El material a calcinar entra por un lado del horno e inmediatamente queda suspendido en una corriente de aire y gases que llena todo el horno y sigue una trayectoria de tipo ciclón. Los quemadores se encuentran encendidos cuando el material entra. El ciclo de quemado ó calcinado dura un tiempo determinado de aproximadamente 50 segundos, al término del cuál el quemador se apaga, la corriente de --

aire se suspende, se abre la compuerta y el material cae por gravedad a una banda transportadora de canchales que lo lleva hasta un almacén a la intemperie.

La operación de vaciado del material es muy corta, después de la cuál la compuerta se cierra, se restablece la corriente de aire, se prende el quemador y se inicia otro ciclo de calcinación.

Aunque podría pensarse que éste último proceso es el más sencillo debido a que todos los controles son automáticos y es un horno con una buena eficiencia, es aquí donde se influyen todas las características que el material alcanzó en las operaciones anteriores y que pueden causar una buena o mala calidad en el producto final, no solo en sus propiedades físicas sino también en la eficiencia misma de la planta. Asimismo, también influyen la temperatura y el tiempo de residencia.

Finalmente tenemos el seleccionado final del producto terminado, que elimina los gránulos pegados y el material roto durante la calcinación. Esto se hace para que el producto está de acuerdo a la granulometría que marca la Norma ASTM C330 para Agregados Ligeros.

## V.- CONTROL DE CALIDAD.

Empezaremos este capítulo haciendo mención de algunas características que determinan la calidad del producto en el mercado.

Primeramente estableceremos el mercado donde se puede desarrollar el producto, y después las características del mismo que definen su necesidad en ese mercado.

Su uso principal está dirigido a los concretos para uso estructural, en donde se aprovecha su ligereza y resistencia. Tiene también aplicación en concretos arquitectónicos, muros divisorios que requieren de ligereza y resistencia al fuego.

Existen también otros mercados más pequeños, como lo son la fabricación de tabique ligero para construcción y otros.

Se piensa darle uso en otro tipo de mercado diferente como en la hidroponía y para carpetas asfálticas en carreteras y pavimentos, pero estos mercados apenas se comienzan a investigar.

Dentro del mercado principal podemos mencionar a la compañías que se dedican a la fabricación y distribución del concreto premezclado. Este concreto es un producto listo para colocarse en los elementos estructurales, y dadas las condiciones de tiempo y espacio, su uso se hace necesario en muchos tipos de construcción.

Mencionaremos también a las compañías que se dedican a la fabricación de elementos estructurales prefabricados, (columnas, trabes, vigas, etc.). Estos elementos son usados para la construcción de puentes, edificios, casas, etc.

A continuación hablaremos de las características que definen su calidad en el mercado.

Este tipo de mercado requiere de un material ligero con una alta resistencia mecánica al aplastamiento para ser usado como sustituto de los agregados naturales pétreos en la fabricación de concretos estructurales.

Para cumplir con esos requisitos se escogió un producto hecho de arcilla, el cual por medio de un proceso industrial se transformó en un cuerpo cerámico de alta resistencia mecánica. Su forma es semiesférica y su tamaño varía de 3 a 12 mm.

El tamaño se eligió de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- a) La idea principal es fabricar agregado grueso únicamente
- b) El tamaño menor a 4.7 mm. es considerado por los usuarios, como agregado fino ó arena.
- c) El material pequeño es arrastrado en gran parte por la corriente de aire que va al secador, disminuyendo la producción y causando taponamientos en el secador y en el horno.
- d) Entre más pequeño es el material, el costo del agregado se incrementa debido a que su venta se realiza por volúmen.
- e) El volúmen del consumo de cemento usado con el concreto fabricado con agregado fino, se incrementa.
- f) Las propiedades físicas y mecánicas del concreto hecho con agregados finos se alteran por una mayor contracción por secado, disminución en las resistencias por compresión y tensión, disminución en la trabajabilidad del concreto (aspero), etc. Debido a todo esto, no se puede utilizar en elementos estructurales.

Por otra parte, un tamaño mayor a 11 mm. tiene un costo de fabricación bastante alto. La ligereza y la resistencia están en función directa con el tiempo de residencia y la temperatura de quemado en el horno, de tal forma que se necesitaría aumentar estas condiciones para lograr obtener un producto más grande y de la misma calidad que el que ahora se produce. Hay que considerar también un mayor desgaste del horno y un aumento en el costo por mayor consumo de combustibles.

Los agregados ligeros artificiales tienen ventajas y desventajas con respecto a los agregados naturales de peso normal.

A continuación mencionamos algunas ventajas del concreto hecho con este agregado, que están basadas en la experiencia propia y en productos similares fabricados en el mundo:

- 1.- Tiene una menor transmisión del calor.
- 2.- Proporciona una mayor resistencia de la estructura al fuego.
- 3.- Resistencia por compresión similar a la de los concretos hechos con agregados naturales.
- 4.- Densidad hasta del 30% menor a los concretos normales.
- 5.- Mayor uniformidad en sus propiedades físicas y mecánicas, por el Control de Calidad que se lleva en las fábricas.
- 6.- Mejor comportamiento en condiciones sísmicas.
- 7.- Ahorro en acero de refuerzo y disminución en el tamaño de los componentes estructurales.
- 8.- Ahorro en las estructuras falsas (moldes).
- 9.- Es posible la construcción de edificios con un gran número de niveles.
10. Ahorro en cimentaciones.
11. Ayuda a resolver problemas en suelos difíciles.
12. Usándolo en concretos arquitectónicos para interiores y exteriores, ahorran materiales de recubrimiento y se logran acabados novedosos .

13. Se logran construir puentes esbeltos con claros muy grandes.
14. El concreto hecho con estos agregados es muy fácil de colocar.
15. Mayor trabajabilidad.
16. Es una fuente de aprovisionamiento de agua que proporciona al cemento el agua necesaria para un endurecimiento mejor.

Se tienen también desventajas en su uso, como son:

- 1.- El costo es 3 veces mayor.
- 2.- Necesita ser saturado al vacío para lograr bombeo a gran altura.
- 3.- Sufren una mayor deformación por compresión.
- 4.- Necesita ser saturado con agua antes de usarlo. Si se utilizan aditivos, se puede reducir su efecto, ya que son absorbidos.
- 5.- Es necesario contar con un almacén extra para este agregado
- 6.- Requiere de una mayor cantidad de arena para que puedan ser bombeado.
- 7.- Existen algunas construcciones en las que es necesario usar concretos pesados, como son las estructuras marinas.
- 8.- Por su alta absorción, requiere de cuidados especiales para conseguir uniformidad en la trabajabilidad y resistencia deseadas.

A continuación se hace una comparación de algunas características y propiedades principales del agregado ligero artificial, con los de un agregado ligero natural y un agregado andesítico de peso normal.

Se escogió la norma ASTM C-330 como parámetro de comparación debido a que la norma nacional apenas se encuentra en periodo de formación.

Agregado Ligero Artificial Arcilla Expandida.	Agregado Ligero Natural Pómez	Agregado de Peso Normal Grava Andesítica.	Norma ASTM C330 para Agregados Ligeros
---	-------------------------------	---	--

Costo	3 veces mayor que el andesítico			
Peso Volumétrico suelto a granel Kg/M <sup>3</sup>	.730	350 a 650	1,387	880
Peso Específico gr/lt.	1.55	.55 a 1.50	2.40	- . -
Absorción %	18	50	5	- . -
Densidad aparente en estado seco.	1.3	.36 a 1	2.29	- . -
Resistencia a la abrasión %	33 %	- . -	- . -	50 %
Pérdida por Calcinación %	0.17	- . -	5	5
Párculas desmenuzables %	0.9	- . -	0.7	2
Densidad del Concreto en Estado Fresco Kg/M <sub>3</sub>	1800	1200 - 1600	2200	2000
Resistencia por Compresión en Concretos hechos. Kg/cm <sub>2</sub>	80 a 500	40 a 125	60 a 500	180 mín.

Con objeto de comparar las características del concreto hecho con agregados ligeros y las del concreto hecho con agregados de grava andesítica, se hicieron pruebas en la planta donde se desarrolla este estudio, y se observó el comportamiento en forma paralela de ambos concretos.

Todo esto se hizo con la idea de garantizar la calidad del agregado ligero en elementos estructurales.

Se estudió la resistencia por compresión, la resistencia por tensión, el módulo elástico, la contracción por secado así como algunas otras características de menor importancia que determinan su uso en los elementos estructurales.

Aunque el objeto de este estudio no es el de analizar todas estas características, se anexan sin embargo algunas gráficas en las que se pueden apreciar de una manera comparativa algunos de los resultados a los que se ha llegado.

Para la construcción de la figura No. 5 se hicieron pruebas con diferentes consumos de cemento y se graficaron contra los resultados de resistencia por compresión obtenidos a los 28 días de hechos.

Como se puede apreciar, existe una diferencia muy pequeña en la resistencia por compresión que se logra con los dos diferentes tipos de concreto.

En la figura No. 6 se está relacionando la resistencia por compresión con la resistencia a la tensión y a la flexión a diferentes edades de hecho el concreto. El ajuste de los datos fué hecho a una curva de tipo exponencial y la ecuación se encuentra en la gráfica.

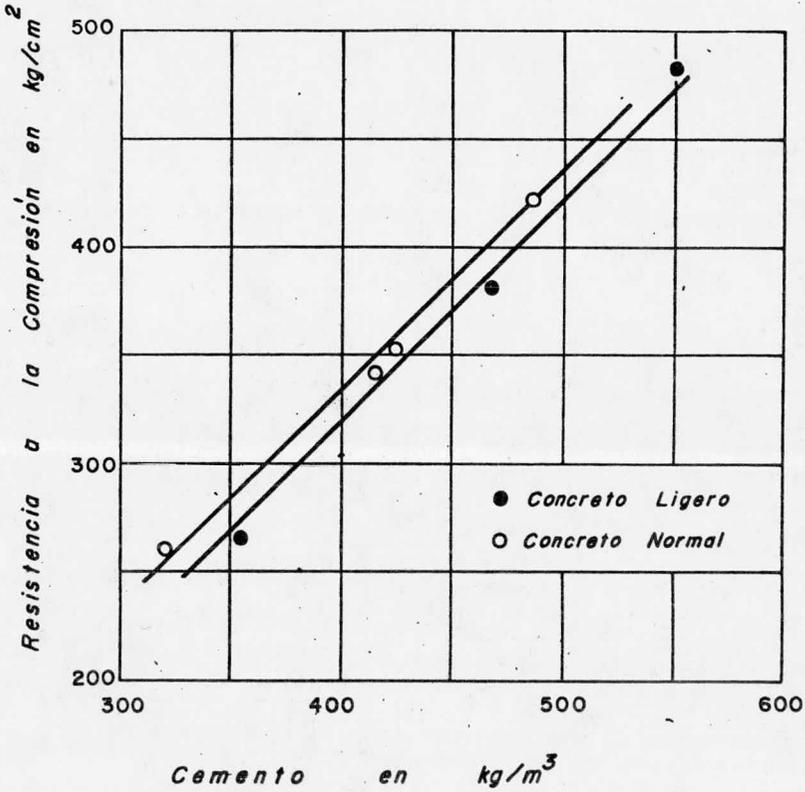


Fig.-5. Consumo de Cemento vs. Resistencia a la Compresión.

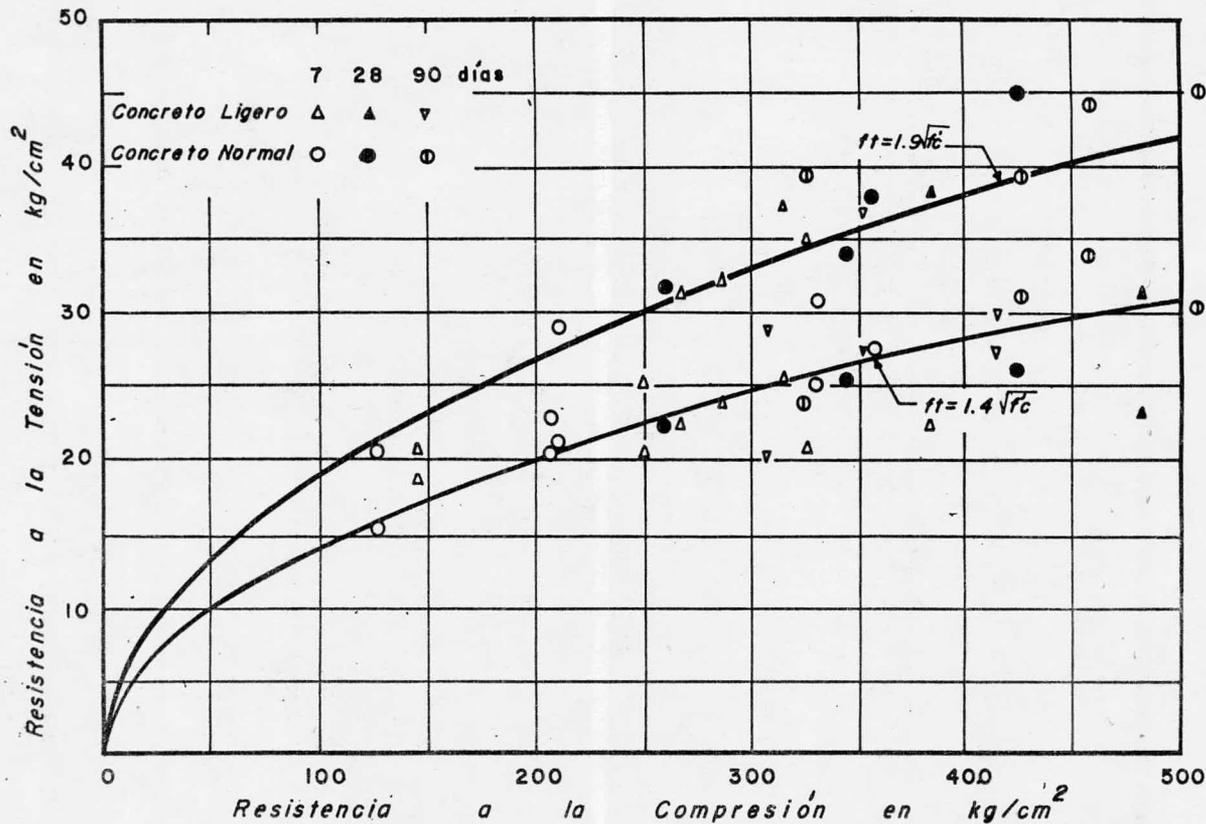


Fig.-6. Relación entre Resistencias a la Tensión y Compresión

Estas tres características así como las antes mencionadas, tienen una gran importancia en el cálculo de los elementos estructurales que van a estar sujetos a carga.

Es entonces necesario conocer el comportamiento de estas características en el concreto hecho con Agregados Ligeros Artificiales.

Una vez definidos el mercado y la calidad del producto, empezaremos a elaborar el control de la calidad desde el inicio de su fabricación hasta su colocación en elementos estructurales.

Hasta el momento, en esta planta de agregados ligeros solo se había llevado un registro de la trayectoria del material en el proceso, sin que exista un control de prevención para una mala calidad.

Se ha elaborado un control de calidad en base a estos registros y a investigaciones en el proceso, encaminado a lograr un control lo más económicamente constante del producto, a disminuir el material que tiene que ser reprocesado, logrando una mejor eficiencia del proceso. Para esto se ha buscado una prevención de causas y en el último de los casos, una acción correctiva en el proceso.

Enunciaremos entonces las características que normalmente interesa medir en cada una de las diferentes operaciones y describiremos el uso que se le da a los resultados.

#### Materia Prima.-

La materia prima es seleccionada en los bancos de arcilla donde se toman muestras de los lugares próximos a explotar. Estas muestras se procesan para conocer la composición química y las contaminaciones físicas de otros materiales que pudiera contener la arcilla.

De esta manera se asegura una calidad constante en la arcilla y se controlan las variaciones posibles en ella.

Hasta el momento se ha visto que la composición química tiene poca influencia en el proceso, no así las contaminaciones que pueden ocasionar serios problemas en el proceso de fabricación y en la calidad final del agregado.

Las contaminaciones son básicamente materiales no arcillosos muy gruesos que impiden la aglomeración y disminuyen la capacidad en los gránulos formados.

Básicamente las hemos considerado de dos tipos: La primera contaminación la constituyen pequeñas piedras blancas (pómez) que el molino no muele y que pasan íntegras el proceso de granulación. Estas pequeñas piedras actúan como cuerpos de choque contra los gránulos formados, evitando que aumenten su tamaño.

Los gránulos que se forman llevan incluidas en su masa estas piedras. Cuando entran al proceso de quemado en el horno, las piedras no sufren ningún efecto en la expansión y en la fusión. Los gases formados en el interior del gránulo escapan por las salidas que proporcionan estos cuerpos, destruyendo la esfera.

La segunda contaminación la constituyen partículas de cuerpos de feldespatos, sílice y algunas otras materias de origen volcánico que le dan a la arcilla características de arena muy fina. Estas partículas no arcillosas impiden la aglomeración de las partículas, disminuyendo la cohesión entre ellas.

Esta contaminación provoca un gránulo flojo con una baja resistencia en crudo, por lo que habrá un gran desprendimiento de partículas finas a través del proceso, creando fuertes problemas en el equipo por efecto de la abrasión y de los taponamientos en las rejillas del secador que impide el paso del aire.

Cuando estos gránulos son calcinados, los materiales arcillosos no llegan a tener una liga cerámica suficientemente fuerte. La formación del vidrio necesario para lograr un estado fluido que atrape a los gases de expansión se disminuye, creando de esta forma un producto pesado y poco resistente al aplastamiento. La planta carece de un secador para materia prima, por lo cual la arcilla que se extrae del banco, se envía a una planta externa para su secado.

La granulometría no es importante, ya que la arcilla deberá pasar por el sistema de molienda del proceso de Fabricación.

La secadora tiene capacidad suficiente para secar unas 90 ton/hr. a humedades menores a 16% sin problemas.

Aquí solo se muestrea la arcilla para comprobar que sea la materia prima escogida previamente en el banco.

Después del secado, la materia prima es recibida a granel en la planta y almacenada a la intemperie. Las condiciones de humedad de la arcilla están directamente influenciados por las condiciones ambientales (lluvia, calor, viento, etc.), ya que no se cuenta con un almacenamiento cubierto.

Es claro entonces, que son las contaminaciones las que hay que controlar en la materia prima. Entre menor sea el porcentaje de contaminación, mayor será la plasticidad en la arcilla y mejor será la formación del granulado.

En las figuras Nos. 7 y 8 se ilustran las distribuciones de los valores de contaminación de las arcillas que llegan a la planta. La figura No. 7 corresponde a la materia prima base, que tiene un alto contenido de contaminaciones. La figura No. 8 corresponde a una arcilla muy plástica con un bajo contenido de contaminaciones. Este material se usa como corrector de la materia prima principal, debido a que su costo es el doble de la arcilla base.

Como hemos dicho anteriormente, entre menor sea el contenido de contaminaciones en la arcilla, mayor será la calidad del gránulo que se va a quemar. Por lo tanto, el tener valores menores a los que se ven en las gráficas nos ocasionaría una mejora en el proceso, aun que esto casi no sucede.

Por otro lado, los valores hacia la derecha de las gráficas no son deseables y se puede fijar un límite de 28 para la materia prima base. Así por ejemplo, si se encuentra un yacimiento con valores superiores a 28, se elimina toda posibilidad de explotación y se continúa buscando otros frentes.

Puede ser también que por alguna razón este material llegue a la planta lo cuál es fácilmente detectable, primero atributivamente y después comprobado en el laboratorio. Cuando esto sucede, se suspenden los envíos y la arcilla se almacena por separado para ser alimentada al proceso en porcentajes pequeños que no causen efectos dañinos.

Se ha visto, que los bancos no cambian repentinamente, por lo que el error se debe al proveedor ya que ellos también manejan arcilla contaminada para la fabricación del cemento, donde este efecto no es importante.

El banco de la arcilla correctora, es un yacimiento muy limpio y muy grande que difícilmente cambia en los valores que se dan en la gráfica, por lo que únicamente se tiene cuidado de no tocar las zonas

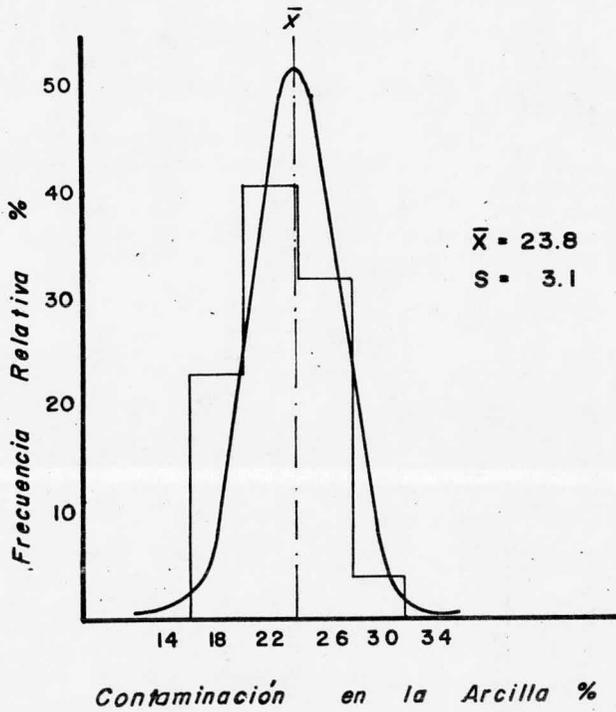


Fig.-7. Distribución de Contaminaciones en la Arcilla Base.

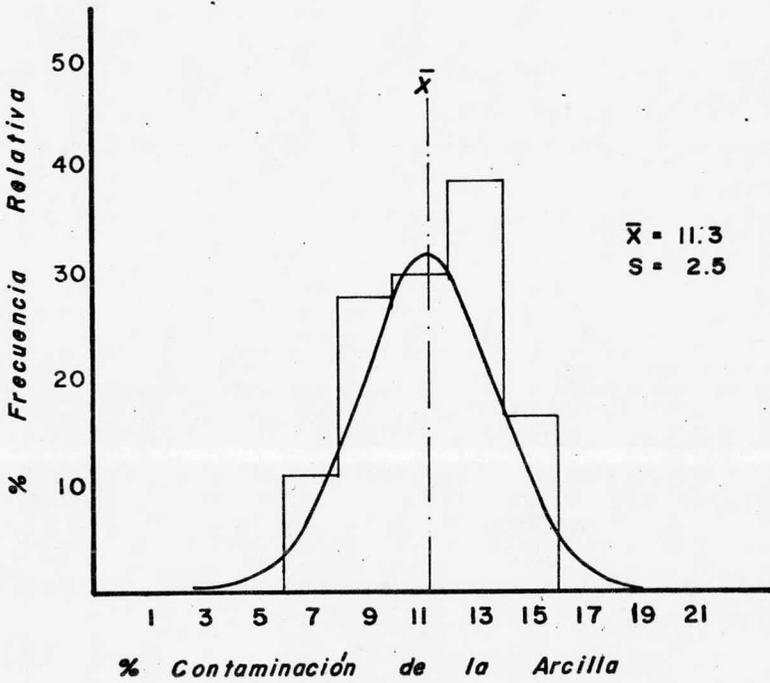


Fig.- 8. Distribución de Contaminaciones en la Arcilla Correctora.

que tienen piedras grandes que pueden verse a simple vista.

Estas dos gráficas y las subsecuentes de este tipo, se calculan con la fórmula de la curva normal:

$$y = \frac{i N}{s} \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - \bar{x}}{s} \right)^2} \right]$$

donde  $i$  = amplitud del intervalo usado para dibujar el histograma.

$N$  = número de casos observados.

$s$  = desviación estandar de la distribución.

$e$  = una constante (aprox. 3.1416).

$\bar{x}$  = un parámetro igual a la media de la distribución.

$x$  = abscisa, característica medible ó puntuación marcada sobre el eje horizontal.

$y$  = ordenada, altura de la curva correspondiente a un valor determinado de  $x$ .

$e$  = una constante (aprox. 2.7183)

Una vez conocidas las fluctuaciones de los valores de contaminación, se procede a mezclar las arcillas y dependiendo de estos valores se determinará el porcentaje de cada una de ellas en la mezcla.

Se asegura de esta forma un contenido de contaminación máximo en la materia prima de entrada al proceso. Hay que hacer notar que si bien es cierto que nos interesa tener el menor porcentaje de contaminación, también nos interesa tener la menor cantidad de arcilla correctora en la mezcla de arcillas, ya que aparte de aumentar el costo de la materia prima, es necesario aumentar la temperatura de quemado y entre mayor sea el porcentaje de esta arcilla, mayor será la temperatura que se use. Se aumenta también el costo por mayor consumo de combustible.

En la figura No. 9 se puede ver el efecto de las contaminaciones en la eficiencia de la planta. La forma como se hizo la gráfica fué la siguiente:

que tienen piedras grandes que pueden verse a simple vista.

Estas dos gráficas y las subsecuentes de este tipo, se calculan con la fórmula de la curva normal:

$$Y = \frac{1}{s} \frac{N}{\sqrt{2\pi}} \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - \bar{x}}{s} \right)^2} \right]$$

donde  $i$  = amplitud del intervalo usado para dibujar el histograma.

$N$  = número de casos observados.

$s$  = desviación estandar de la distribución.

= una constante (aprox. 3.1416).

$\bar{x}$  = un parámetro igual a la media de la distribución.

$X$  = abscisa, característica medible ó puntuación marcada sobre el eje horizontal.

$Y$  = ordenada, altura de la curva correspondiente a un valor determinado de  $X$ .

$e$  = una constante (aprox. 2.7183)

Una vez conocidas las fluctuaciones de los valores de contaminación, se procede a mezclar las arcillas y dependiendo de estos valores se determinará el porcentaje de cada una de ellas en la mezcla.

Se asegura de esta forma un contenido de contaminación máximo en la materia prima de entrada al proceso. Hay que hacer notar que si bien es cierto que nos interesa tener el menor porcentaje de contaminación, también nos interesa tener la menor cantidad de arcilla correctora en la mezcla de arcillas, ya que aparte de aumentar el costo de la materia prima, es necesario aumentar la temperatura de quemado y entre mayor sea el porcentaje de esta arcilla, mayor será la temperatura que se use. Se aumenta también el costo por mayor consumo de combustible.

En la figura No. 9 se puede ver el efecto de las contaminaciones en la eficiencia de la planta. La forma como se hizo la gráfica fué la siguiente:

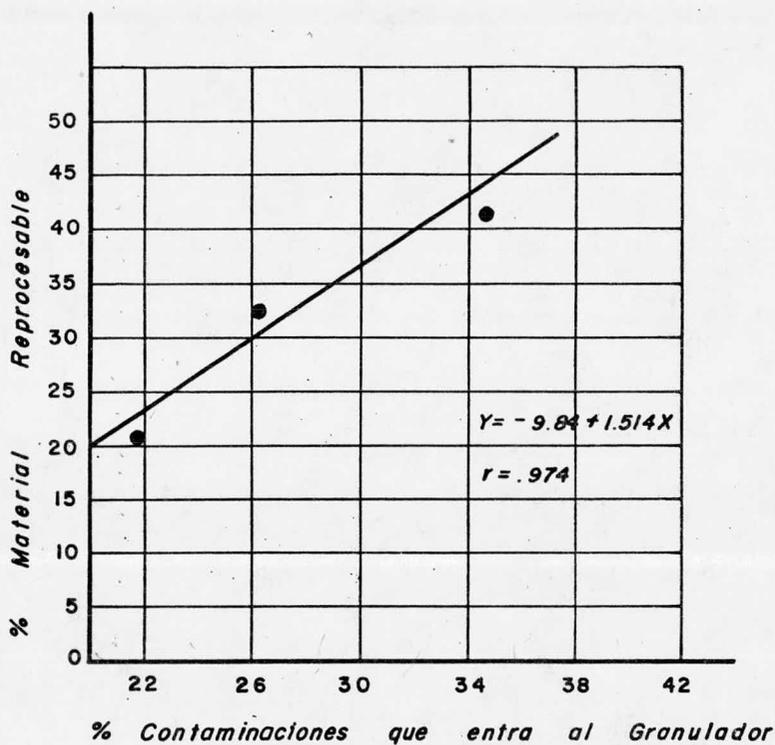


Fig.- 9. Efecto de las Contaminaciones en el Proceso.

Se introdujo al proceso materiales con diferente contenido de contaminaciones y se midió la cantidad del material que regresa para ser reprocesado.

Los puntos de la gráfica representan el promedio de cinco muestras. A medida que se incrementa el contenido de contaminaciones en la arcilla, mayor será la cantidad de material que tiene que ser reprocesado y mayor será el daño que cause al equipo por abrasión.

Esta recta y las subsecuentes de este tipo, se calcularon con los datos obtenidos por el método de los mínimos cuadrados cuyas fórmulas se dan a continuación.

$$Y = a + bX$$

$$a = \frac{\sum Y(\sum X^2) - \sum X(\sum XY)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Estas medidas de prevención han dado buenos resultados y se ha podido lograr un mejor aprovechamiento del material en los procesos subsecuentes.

### Molienda y Granulación.

Por lo que respecta a estos procesos, se lleva un sistema de muestreo de acuerdo a las exigencias de operación. Se controla aquí la finura del material molido para lograr la finura debida y evitar fluctuaciones considerables en ella.

Cuando por alguna causa el molino se descuida, los discos de molienda se abren con la vibración que genera el molino al estar trabajando. Estos descuidos provocan variaciones considerables en la finura en todos sus tamaños, como se ve en la fig. No. 10. Esto trae como consecuencia una formación del granulado poco uniforme en su tamaño y en su compacidad; por lo tanto, hay que asegurar los elementos de molienda para que se mantengan fijos y vigilar su desgaste

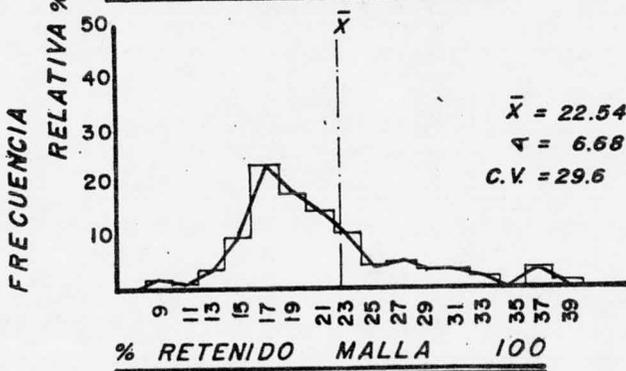
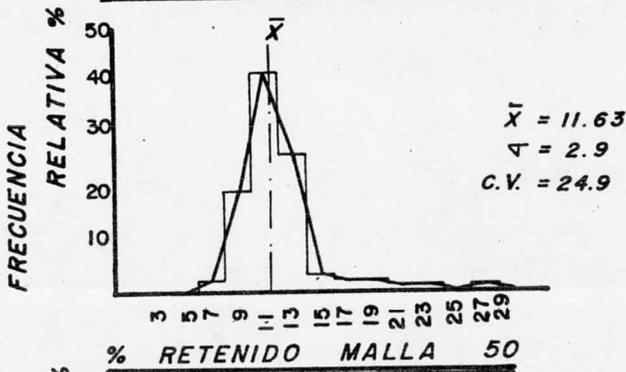
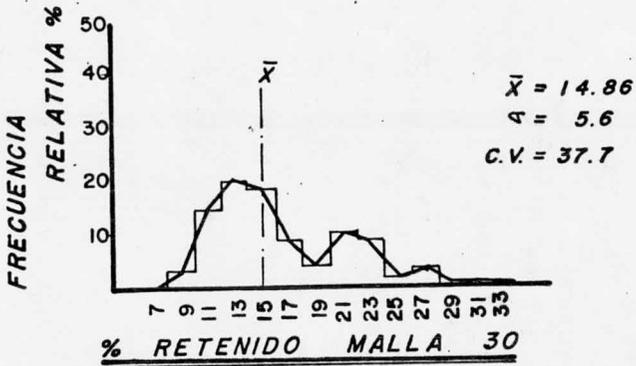
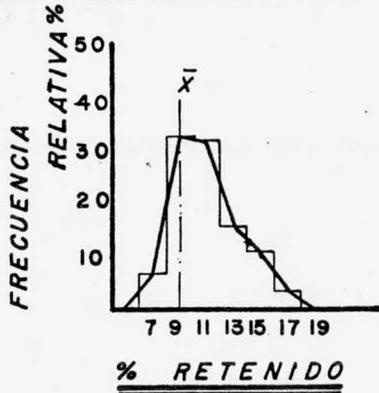
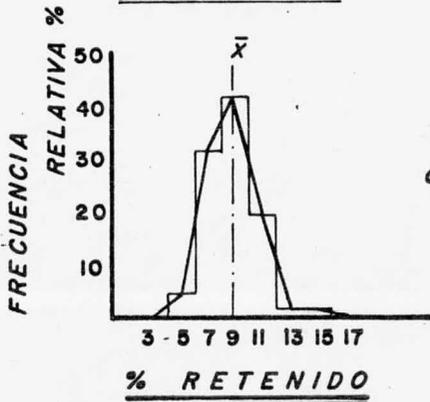


Fig.-10. Finura no Controlada en el Molino.

MALLA 30



MALLA 50



MALLA 100

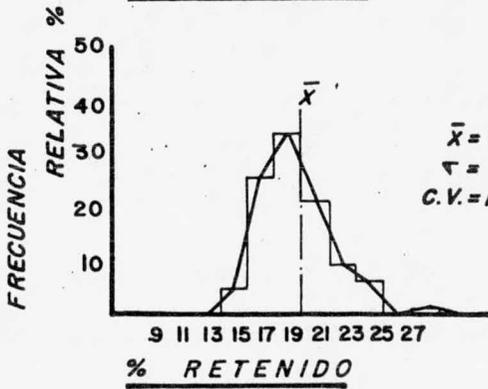


Fig.-11. Finura Controlada en el Molino.

para cambiarlos cuando sea necesario. En la figura 11 se puede ver la reducción de estas amplitudes y la tendencia a formar una curva de tipo normal por el cuidado que se lleva ahora con estas máquinas

La humedad en la materia prima también se controla por medio de mezcla de arcilla seca y húmeda. Un contenido de humedad mayor - del 18%, además de parar el molino por el lodo que se forma, nos produce un grano poco resistente.

En el material que sale del granulador se observa el tamaño - de los granulos y la humedad de ellos.

Existe un clasificador después del secador, que elimina los tamaños mayores a 10 mm. y menores a 3 mm., por lo que solamente se - lleva un registro de la granulometría que está generando el plato. Este registro nos informa la eficiencia del granulador para formar gránulos de 3 a 10 mm. de tamaño. Nos informa también el porcentaje de los dos tamaños de granulado que se forman en el plato granulador (5 a 10 mm. y 3 a 5 mm.). Se trata siempre de lograr el material de 5 a 10 mm. y se admite hasta un 20% de material de 3 a 5 mm., ya que no es posible lograr un 100% de un solo tamaño.

### Secado.

En el proceso de secado realmente no existen problemas y solo cuando se presenta alguna anomalía en su funcionamiento, se hace necesario tomar muestras en forma continua.

El aire caliente que sale del horno junto con los gases de combustión, es suficiente para lograr un secado muy eficiente del material. El contenido máximo de humedad es de 1.5% en el material que va a entrar al horno. Un contenido mayor provoca que el material se rompa al ser sometido al choque térmico por la salida violenta del agua en forma de gas.

El promedio de humedad relativa en el aire que sale a la atmósfera es de 6%. Como se puede observar, existe un sobrante de aire caliente que podría ser aprovechado en el secado de la materia prima.

En la figura No. 12 se aprecian las distribuciones de los valores de humedad del material que sale del secador. Se puede ver en la gráfica, que existen pocos valores que pasan el 1,5%, sin embargo, se está tratando de mejorar el secado con el objeto de alejarse lo más posible hacia abajo del límite máximo de humedad. Para esto se ha estado aumentando la cantidad de aire para lograr un incremento en la presión sobre la cama del material y poder obtener un secado cada vez más uniforme.

Cuando se tienen valores mayores a 1.5%, se debe de parar la banda del secador y buscar donde se encuentra la falla. Normalmente estos aumentos se deben a la formación de algún agujero en la cama del material por donde se pudiera colar la mayor cantidad del aire ó a la existencia de algún orificio en la cámara de secado por donde pudiera estar entrando aire fresco que disminuya la temperatura del aire de secado.

Si esto sucediera, aparte de corregir el error, el material se deja en la cámara de secado un poco más de tiempo que el normal (45 min.) hasta que el laboratorio indique que el material tiene una humedad menor a 1.5% que es el valor crítico. Se aumenta también la frecuencia del muestreo hasta que el secador trabaja normalmente.

También se puede aumentar la temperatura del aire de secado, sin llegar a un punto en el cuál pudiera volatilizarse parte del aditivo expansor (350 a 400 °C).

La velocidad de la banda se puede disminuir para aumentar el tiempo de residencia del material dentro de la cámara de secado pero

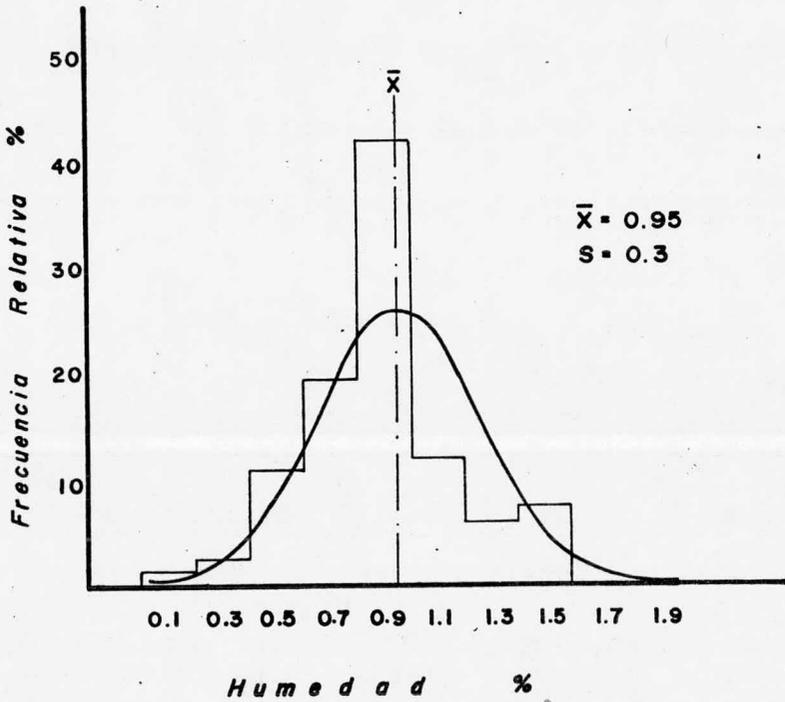


Fig.-12. Distribución de Humedades en el Secador.

se reduce la alimentación al horno y esta no es suficiente para su capacidad de producción, por lo que casi nunca se hace.

#### Proceso de Quemado.

Este proceso sin duda alguna, resume todas las propiedades ó características que el material ha adquirido a través de las diferentes operaciones para lograr una buena calidad final.

Existen en esta parte del proceso, diferentes factores que se necesitan controlar para lograr una máxima producción dentro de los límites de calidad establecidos.

El peso volumétrico suelto a granel y la resistencia del material al aplastamiento, están directamente relacionados con la temperatura de quemado, como se puede apreciar en la figura No. 13.

A medida que se incrementa la temperatura, el peso volumétrico suelto a granel disminuye notablemente, esto es debido a una mejor y más completa gasificación del agente expansor en el interior del gránulo; además la capa exterior es lo suficientemente viscosa para impedir que escapen los gases formados, teniendo como consecuencia un aumento en el volúmen y un aumento en la resistencia del material por un mejor cocido.

En la gráfica se pueden ver tres rectas que corresponden a diferentes porcentajes de material, de 5 a 10 mm. y de 3 a 5 mm. respectivamente; 90 - 10%, 80 - 20% y 70 - 30%.

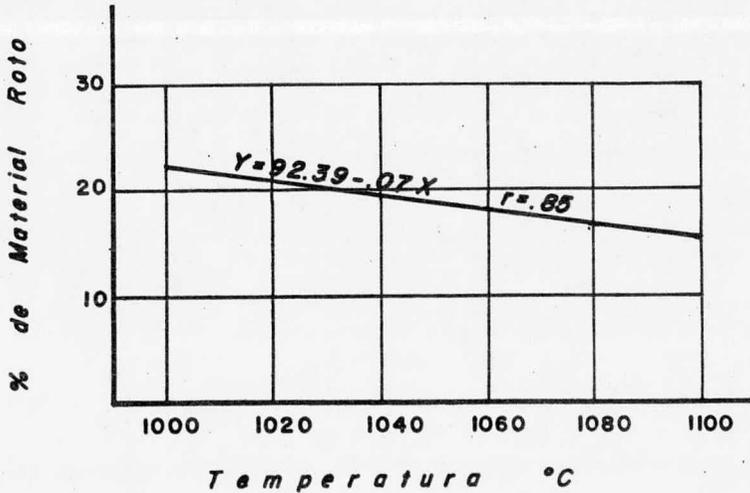
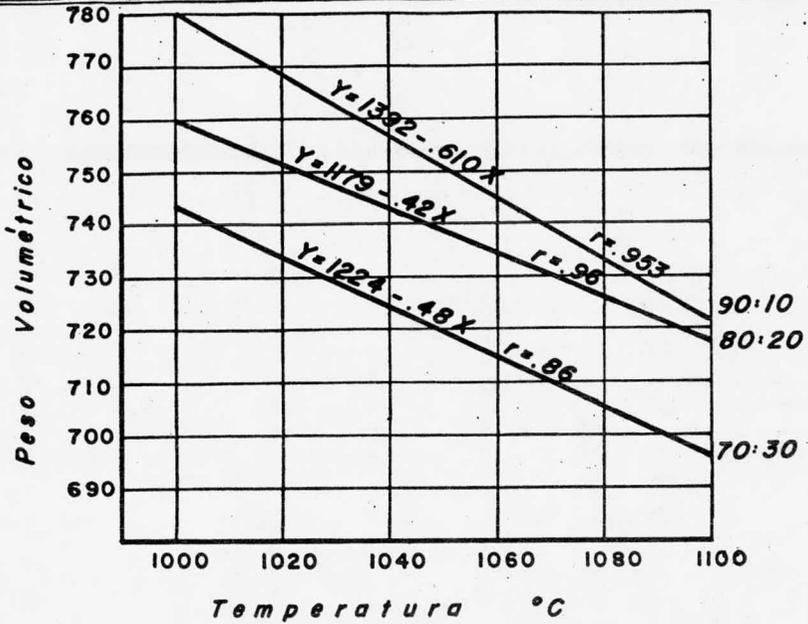


Fig-13. Influencia de la Temperatura en el Peso Volumétrico Suelto a Granel y en la Resistencia.

Aunque podría pensarse que es más económico y conveniente producir un material con 70 - 30%, no es así; primeramente, es imposible controlar esta proporción en el plato granulador con las condiciones actuales de producción, ya que al alterar alguna condición de operación (velocidad de giro, inclinación, materia prima, finura etc) con facilidad se produce una mayor cantidad de material pequeño y por el momento no se justifica una investigación para encontrar los parámetros de trabajo para este caso.

El material de 3 a 5 mm. nos causa graves problemas en el quemado, por lo que se requiere tener la menor cantidad posible de él.

A una misma temperatura y tiempo de residencia, este material funde más rápidamente que el tamaño de 5 a 10 mm. y pasa de la fusión incipiente a la fusión total. Esto trae como consecuencia que esta esfera semilíquida, se adhiera a las paredes del horno empezando a formar una costra que aumenta de espesor a medida que se sigue trabajando el horno. Las capas de la costra más cercanas al tabique refractario, se funden totalmente y forman un vidrio extremadamente duro que es muy difícil despegar.

La costra que se forma, provoca taponamientos en los ductos de entrada y salida del horno, principalmente en la salida de material quemado y en la salida del aire y los gases de combustión. El primer taponamiento, provoca que se tengan que hacer paros continuos para limpiar la salida, hasta que finalmente se tiene que parar definitivamente para limpiar completamente el horno. El segundo taponamiento, provoca una disminución en el área transversal del ducto de salida, lo que trae como consecuencia un aumento en la presión dentro del horno que impide que cierre la compuerta inferior donde están alojados los quemadores.

La mala operación del horno, sin control alguno, causa una variación muy amplia en el peso volumétrico y en la resistencia del producto. Este efecto se puede ver por las mediciones efectuadas -- las cuáles se ilustran en la figura 14.

La prueba de resistencia del producto terminado, es empírica y se estableció con pruebas hechas con material de origen alemán, el cuál tiene ya un uso tradicional en concretos estructurales en Europa y al cuál pertenece la tecnología de esta planta.

Esta prueba nos da una idea de la resistencia del material - como tal y no en forma de concreto. Se tiene también una idea indi-recta de la operación del horno. Cualquier cambio apreciable en las condiciones de operación del horno, nos refleja una disminución en la resistencia del producto. el límite máximo de material roto se ha establecido en 25%.

Por lo que respecta al peso volumétrico suelto a granel, la - norma ASTM C-330 para agregados ligeros es bastante amplia y supone que un material puede llamarse ligero si tiene un peso volumétrico suelto a granel inferior ó igual a  $880 \text{ Kg/m}^3$ .

Naturalmente que entre más ligero sea el agregado, sin llegar a perder resistencia mecánica, más aumentan las características fi-sicas que lo hacen competir con los agregados naturales; además, desde el punto de vista económico, también es preferible ya que el producto se vende por volúmen.

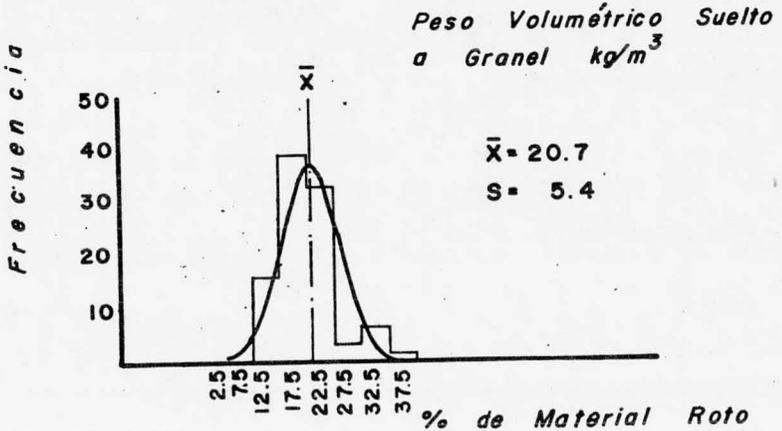
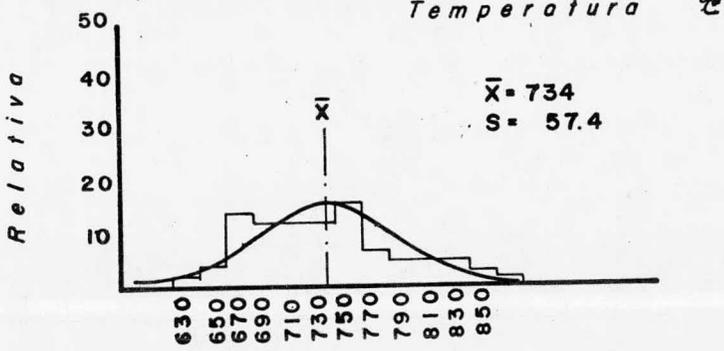
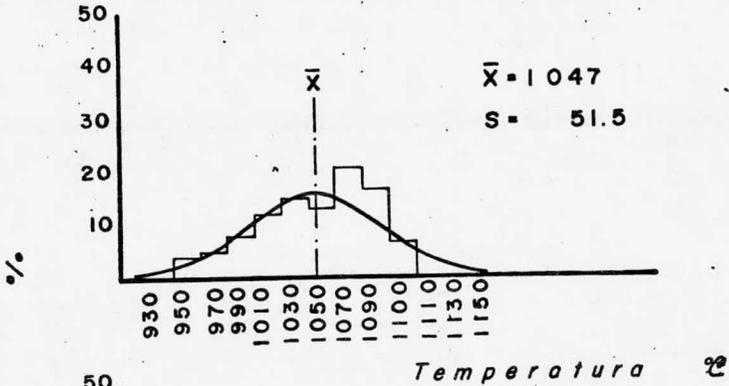


Fig.-14. Distribución de Temperatura, Peso Volumétrico y Resistencia durante una Operación sin Control.

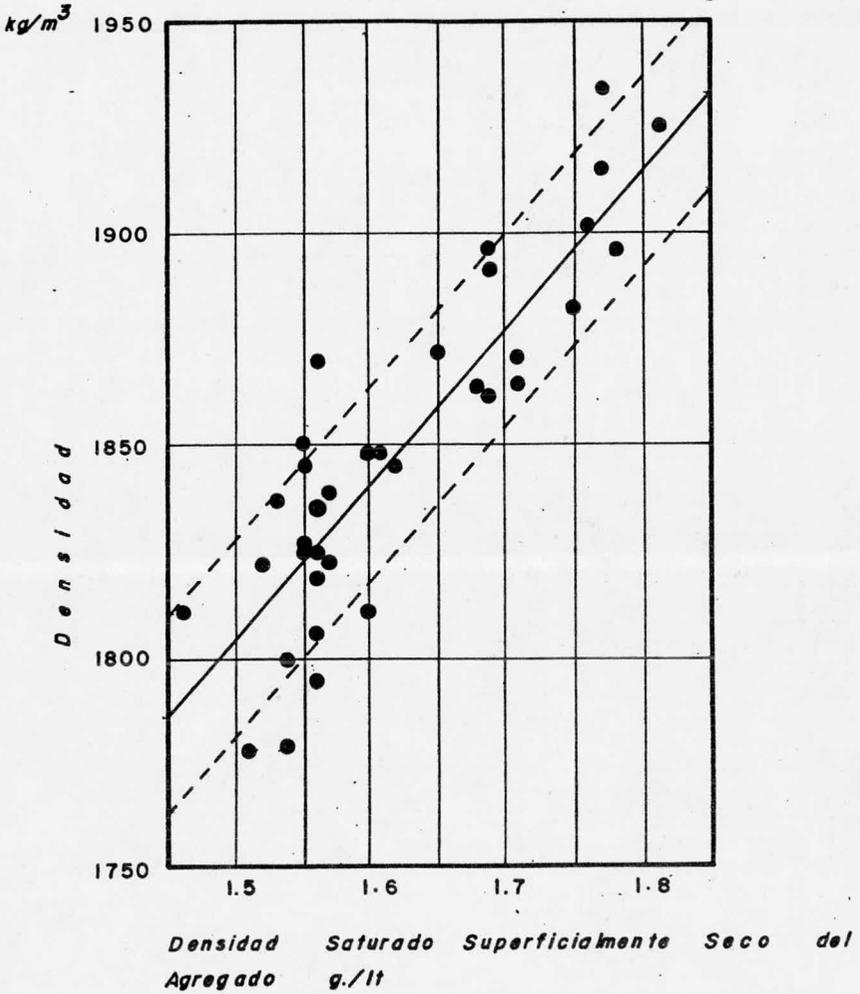
Sin embargo no es posible disminuir el peso indefinidamente, porque el material empieza a ser más frágil conforme aumenta la porosidad y como explicamos anteriormente, se tienen problemas con el horno.

Un material pesado tampoco es conveniente, ya que como se ve en la figura 15, entre mayor densidad tenga el agregado, mayor será la densidad del concreto hecho con este agregado.

Por las causas antes mencionadas, es por lo que se produce un material ligero de acuerdo a las necesidades del mercado y a las posibilidades de producción.

Combinando estos dos factores, se obtuvo una primera gráfica de control para el peso volumétrico suelto a granel, considerando las causas de variación propias de la operación de quemado (Figs. 16 y 17), se puede apreciar en ellas una amplitud considerable aún cuando se cumpla con la norma satisfactoriamente. Estas variaciones son causadas por el efecto de la formación de la costra en las paredes del horno. Cuando el horno se encuentra totalmente limpio, se pueden lograr pesos volumétricos bastante bajos por la alta conservación del calor que tiene el tabique refractario.

Se puede ver también que existen puntos fuera de los límites de control, que son debidos a causas asignables en la operación de quemado. Al estudiar estos puntos, se encontró que son causados principalmente por los siguientes factores: Los puntos fuera del límite superior de control, se deben a una disminución de la temperatura por parte del operario, para impedir que el material continúe adhiriéndose a las paredes del horno.



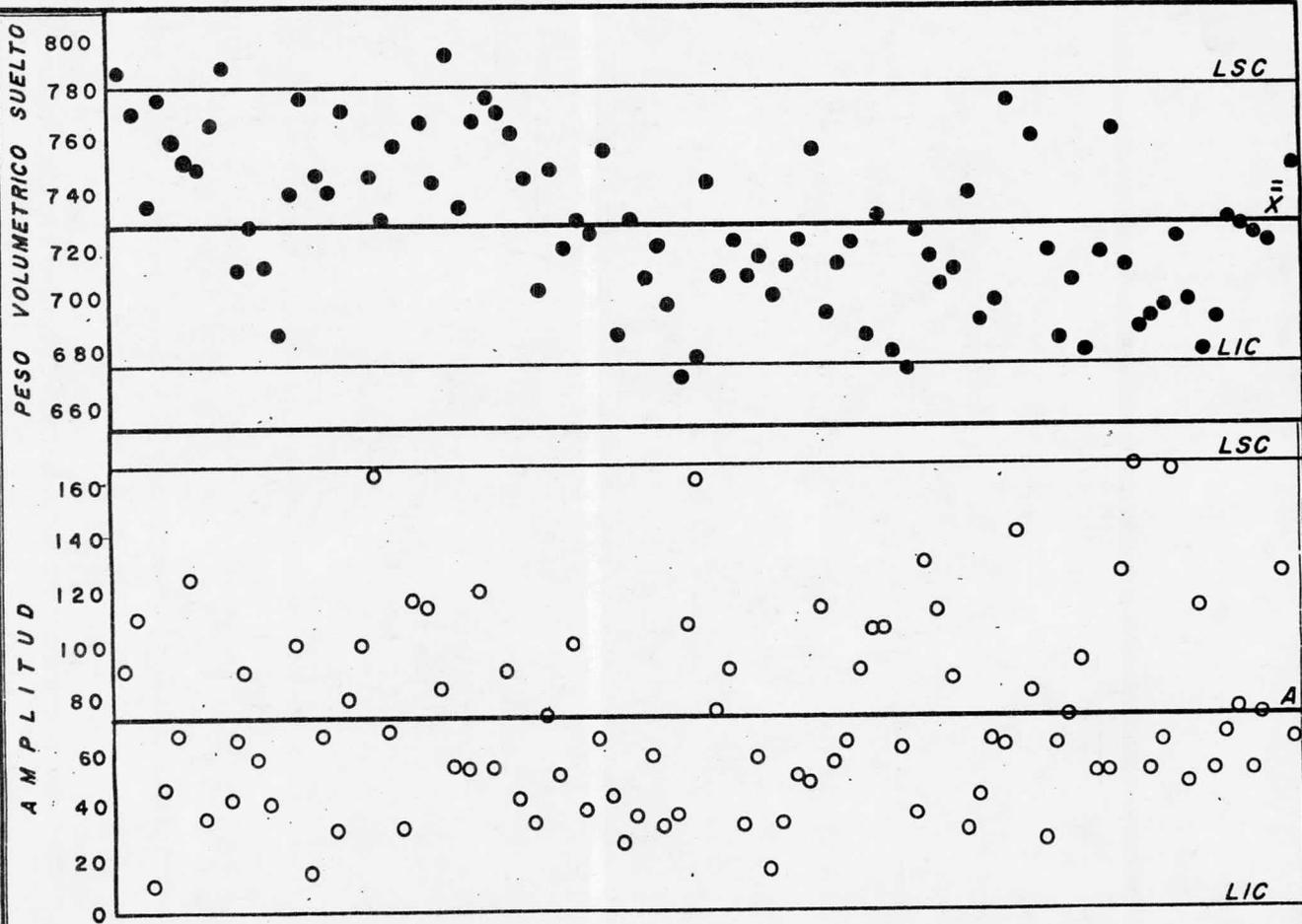


Fig.-16. Gráficas de Control, de Medias y Amplitudes.

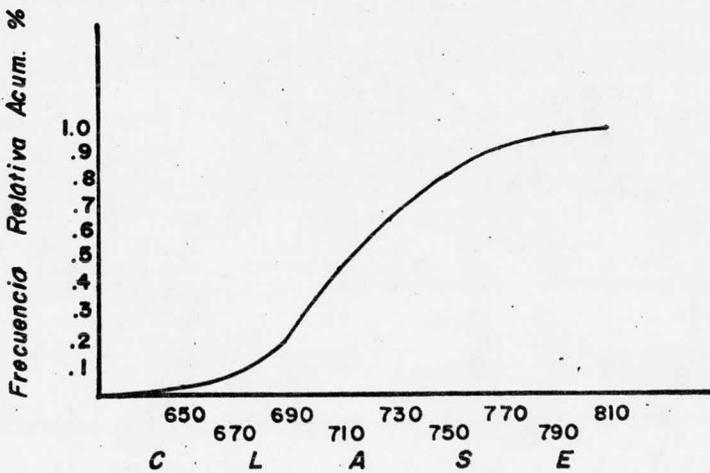
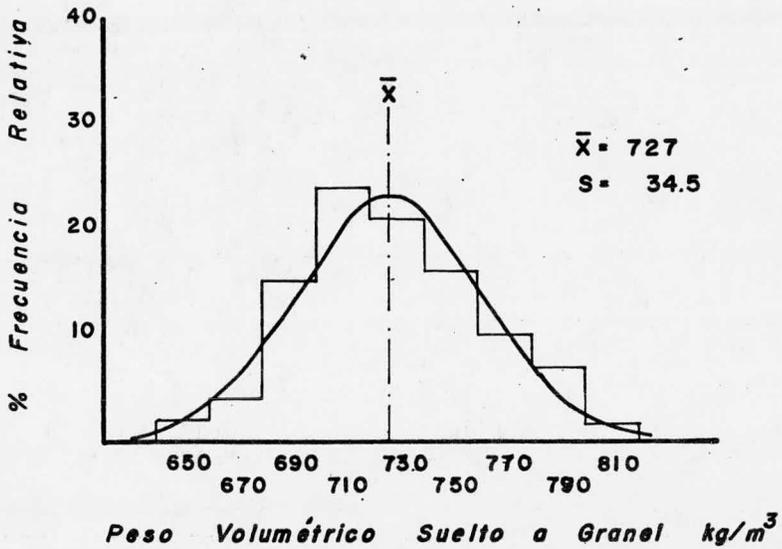


Fig.-17. Distribución del Peso Volumétrico Suelto a Granel.

Se debe también a una disminución en el tiempo de residencia provocada también por el operador, cuando se empieza a pegar el material en bolas muy grandes que obstruyen la salida.

Estas causas son económicamente incosteables de corregir, ya que no es posible parar continuamente el horno para limpiarlo.

Puede pensarse también que los puntos fuera pudieran deberse a falta de aditivo expansor en los gránulos, sin embargo, esto no sucede ya que el aditivo expansor se agrega en exceso para evitar que en algún momento el gránulo no expanda. El aditivo es lo suficientemente barato como para que se pueda hacer esto.

Los puntos por abajo del límite inferior de control, son causados por cargas con un 30 ó 40% de material pequeño. Estas cargas son producidas por fallas operacionales ó por alimentación de arcilla con un valor de contaminación mayor al establecido máximo (25%).

La única forma de corregir los puntos fuera del límite superior de control es, limpiar el horno totalmente. Las limpiezas superficiales que se hacen en la salida de material quemado, cuando se esté trabajando, son únicamente para aumentar la vida de producción del horno antes de pararlo para su limpieza total y no se puede considerar que sean correcciones a estos puntos.

Para corregir los puntos fuera del límite inferior de control se reduce la temperatura ó el tiempo de residencia del granulado dentro del horno.

El tiempo de quemado se disminuye cuando el material producido con exceso de tamaño chico no es una gran cantidad.

La temperatura se disminuye en caso contrario, en que la producción de material pequeño fuera constante. En este caso, si no es

un error del operador del granulador, se aumenta la cantidad de arcilla correctora hasta donde sea necesario (5 a 10%) para aumentar y uniformizar el tamaño del granulado.

Con respecto al aditivo expansor, como ya dijimos, no es factible que falte en el granulado, pero si puede suceder que se agregue en una cantidad mayor a la normal (1.5%).

Se ha observado, que de alguna forma el aditivo ayuda a la fusión de la arcilla, por lo tanto entre mayor cantidad de aditivo tenga el gránulo, la fusión será mas rápida y a un tiempo normal de quemado, el material se empezará a pegar al refractario rápidamente.

Cuando esto sucede, hay necesidad de disminuir el tiempo de quemado comprobando siempre con el laboratorio que se sigue dentro de los límites de calidad fijados.

Por otro lado, la granulometría, el peso específico, la absorción y la densidad aparente en estado seco son otras características que se necesitan conocer para lograr concretos ligeros que garanticen las propiedades para las cuáles han sido diseñados.

La granulometría ó clasificación por tamaños de partícula se comprueba en cada lote muestreado y al final del día se analiza - cuál es el promedio. Si no cumple con la especificación establecida en la norma ASTM C-330 para agregados ligeros clasificada como grava de 3/8 que se enuncia a continuación, habrá necesidad de corregirla en otro clasificador final.

Este clasificador, es una criba vibratoria con tamices intercambiables, con el cuál se puede ajustar a la granulometría que se requiera.

GRANULOMETRÍA REQUERIDA PARA AGREGADOS LIGEROS QUE SE USAN EN  
CONCRETO ESTRUCTURAL

Designación de Tamaño      Porcentajes en peso que pasan las mallas con las siguientes aberturas.

Agregado Grueso	1/2 in.	3/8 in.	No. 4	No. 8
3/8 a No. 8	12.5 mm.	9.5 mm.	4.75 mm.	2.36 mm.
9.5 mm a 2.36 mm.	100%	80 a 100%	5 a 40%	0 a 20%

La absorción es otra propiedad importante. Los agregados ligeros tienen una gran capacidad de absorción, por su porosidad. Debido a esto es necesario saturarlos previamente antes de su uso.

Si esto no sucediera, el agregado podría absorber parte del agua que el cemento necesita para reaccionar, evitando de esta forma que todo el cemento se hidrate y endurezca; esto trae como consecuencia una disminución en la resistencia y en la trabajabilidad del concreto. En la figura No. 18 se ilustra el comportamiento de absorción del agregado ligero.

El peso específico y la densidad aparente en estado seco se usan unicamente para calculo de dosificaciones para concreto. Estas propiedades junto con la absorción dependen del grado de expansión y vitrificación que los gránulos hayan alcanzado en el quemado.

El producto terminado es almacenado al ambiente y se envía a granel en camiones de volteo.

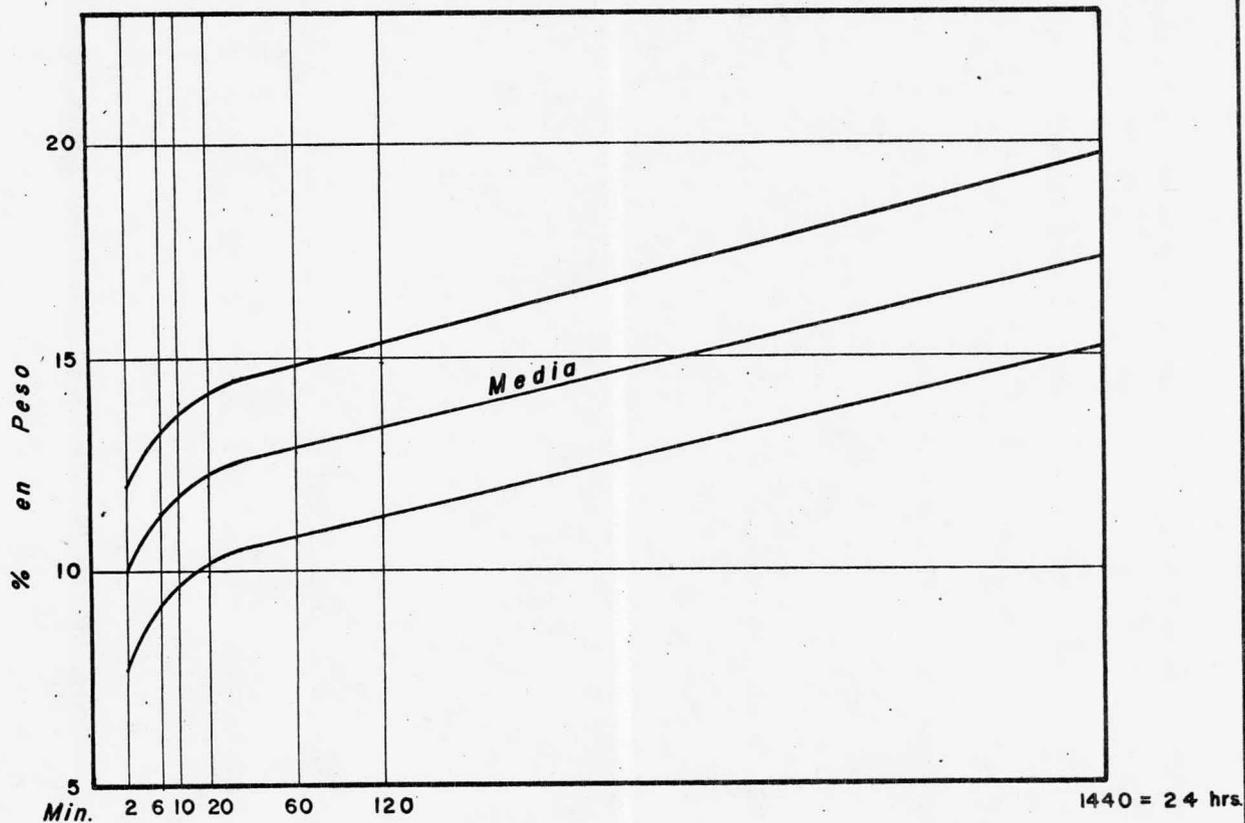


Fig.-18. Absorción vs. Tiempo.

El control de la calidad del producto no termina aquí, es necesario asegurarse que va a ser usado adecuadamente para evitar reclamaciones por parte del cliente.

Para esto se han desarrollado manuales, gráficas, tablas, etc., como las que se ilustran en las figuras 19 y 20. Todo este tipo de información garantiza la calidad del producto en los concretos hechos con este agregado ligero.

La figura 19 nos muestra en una forma sencilla, las proporciones de cemento y agua necesarias para lograr un concreto con una resistencia y una trabajabilidad deseadas. Se considera un volumen constante de agregado ligero en esta gráfica.

En la figura 20 se ilustra la densidad en estado fresco y seco al ambiente que se logra usando diferentes cantidades de cemento y de agregados (lts) en concretos con diferentes resistencias. Estos datos son de gran importancia cuando se hace el cálculo de las estructuras.

Además de este tipo de información, se tiene un servicio de asesoría técnica, la cuál aconseja y orienta a los clientes en el uso adecuado del agregado y en algunos usos específicos que se le piense dar.

En algunas ocasiones se toman muestras del concreto en las obras para probar su resistencia y los resultados son informados al cliente para su seguridad y confianza en el producto.

Se completa de esta forma un sistema de calidad que asegura y confirma las características del producto, que satisfacen su necesidad en el mercado para el cuál fué diseñado.

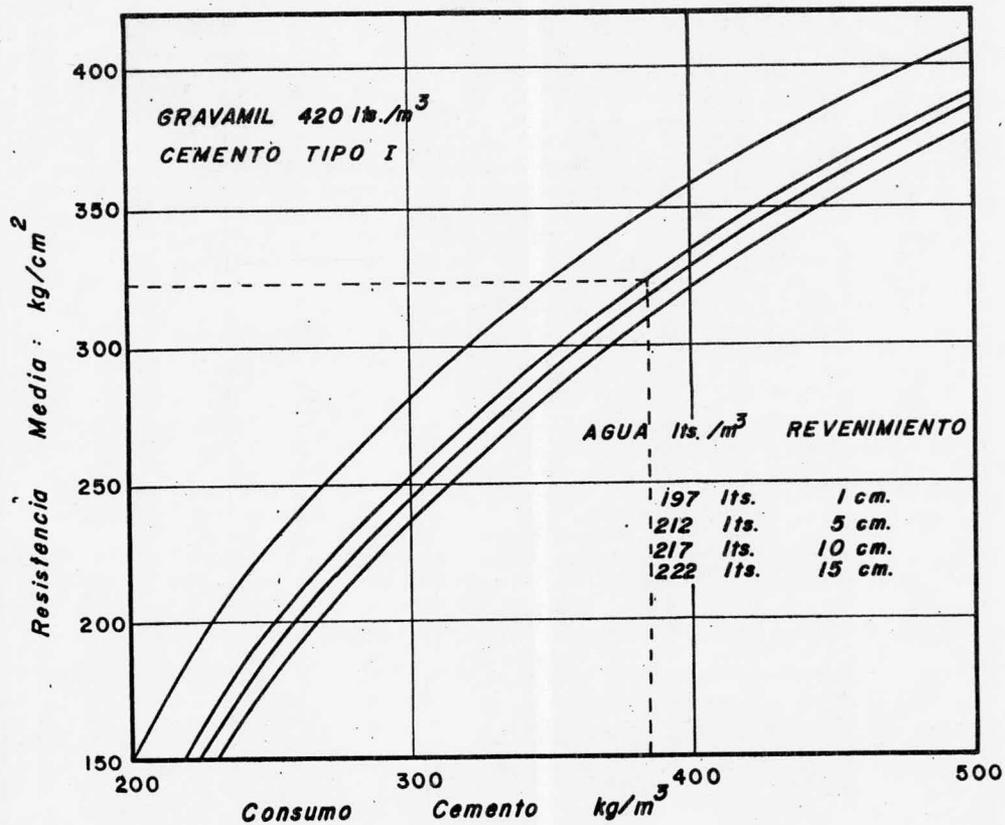


Fig.- 19. Tabla para proporcinar Concreto.

REVENIMIENTO 10 cm.

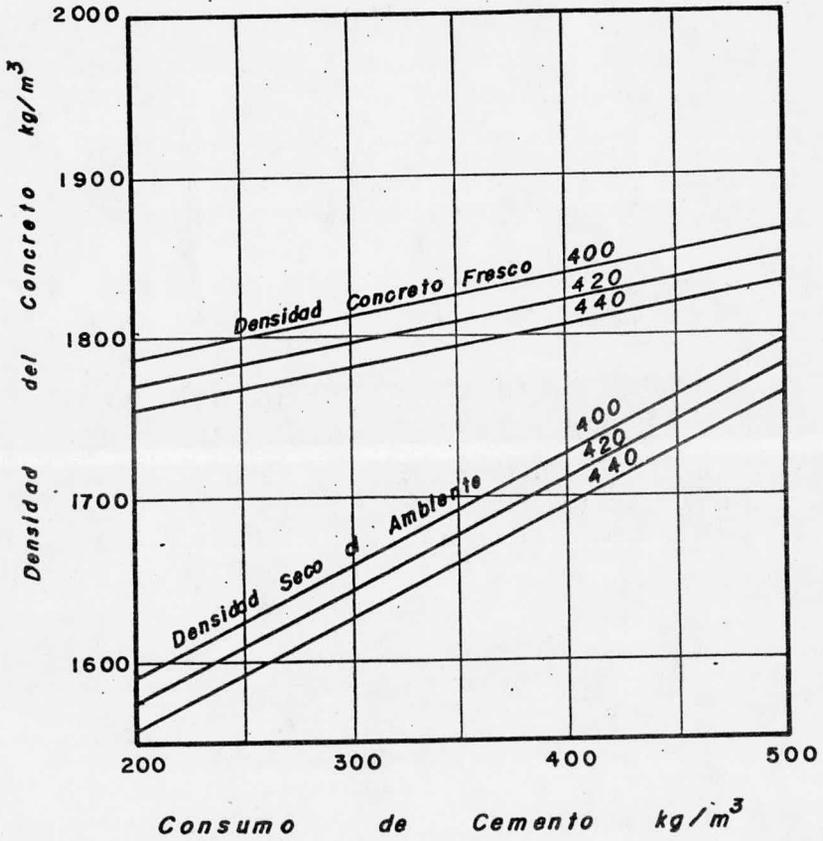


Fig.-20. Densidad de Concreto Fresco y al Ambiente.

## CONCLUSIONES.

Este estudio es una base ó principio de un programa de calidad bastante amplio. Sin duda alguna adolece de muchas partes importantes de las técnicas de control de calidad. Todo esto es debido a la falta de conocimiento de la tecnología del producto, ya que por vez primera se produce en México, lo cuál nos ha conducido a una investigación larga y difícil.

El desconocimiento de los parámetros de producción ha dado como resultado, el planteamiento de problemas sumamente graves que tienen que solucionarse. Tal es el caso de la materia prima.

A medida que se ha ido profundizando en el yacimiento, el contenido de contaminaciones en la arcilla ha tendido a aumentar en forma considerable y aunado a la falta de yacimientos de materia prima en la zona, se tuvo la necesidad de buscar otra arcilla que sirviera como corrector de la arcilla original.

Esta arcilla tiene un costo dos veces mayor al de la materia prima base, lo que nos representa un aumento en el costo de la producción y considerando la tendencia a aumentar del contenido de contaminaciones en la materia prima original, es posible que la arcilla que ahora se usa como correctora, llegue a usarse completamente ó en un porcentaje elevado.

Aparte de causarnos una elevación en el costo del producto, la inclusión de otro material nos causa un descontrol en los parámetros de producción establecidos (granulación, temperatura y tiempo de quemado), lo que implica una nueva etapa de investigación.

La falta de homogeneización de las dos arcillas y el aditivo expansor, es otro de los problemas actuales. Es evidente que la planta se diseñó para trabajar con una única materia prima, la cuál no necesita de ningún agente expansor.

La falta de un secador propio que nos haga independientes en cuanto a asegurar una constancia en el suministro de materia prima seca, necesaria para nuestra capacidad de producción y por último, la falta de un almacén cubierto para la materia prima que nos permita trabajar sin problemas en cualquier época del año.

Podemos decir que, no obstante que este agregado ligero es un producto caro y que nos hemos tenido que enfrentar con problemas totalmente desconocidos, se ha logrado producir un producto dentro de los límites de calidad que satisfacen las necesidades del mercado para el cuál fué diseñado y que puede competir con los agregados naturales andesíticos en la fabricación de concretos estructurales, no obstante su elevado costo.

Aunque el costo de producción ha mejorado en 10%, lo cuál ha permitido sostener el sobreprecio de la arcilla correctora, es posible mejorar todavía más el costo y la calidad, por medio de investigaciones más profundas. Se está investigando con otras arcillas, aglutinantes para aumentar la resistencia del producto en verde, fundentes para disminuir la temperatura de quemado, otros expansores más poderosos, nuevos parámetros de producción etc. Debido a la duración de estos estudios, no se trataron aquí.

Como comentario final, diremos que es evidente la necesidad de implantar sistemas de calidad en todo tipo de plantas industriales que implementen la calidad de los productos para hacerlos cada día más y más competitivos.



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

- GRANT EUGENE L.  
Control de Calidad Estadístico.  
C. E. C. S. A.
- FEIGEMBAUN A. V.  
Control Total de la Calidad.  
C. E. C. S. A.
- SPIEGEL MURRAY.  
Estadística Schaum.  
Mc. Graw Hill.
- GREEN R.  
Clay Mineralogy.  
Mc. Graw Hill.
- SHORT ANDREW AND KINNINBURGH W.  
Concreto Ligero; Cálculo, Diseño y Aplicaciones.  
Limusa Wiley.
- LIGHTWEIGHT AGREGATE CONCRETE.  
Technology and World Applications.  
The European Cement Association.  
CEMBUREAU.
- LIGHTWEIGHT CONCRETE; HISTORY, APPLICATIONS AND ECONOMY.  
Expanded Shale, Clay and Slate Institute.

**Artículos.**

- FABRICACION DE AGREGADOS LIVIANOS ARTIFICIALES.  
Ing. Carlos Ramos S.  
Boletín IMME No. 29 Enero 1970.
  
- MINERALOGICAL COMPOSITION OF BLOATING CLAYS AND THEIR  
BEHAVIOR IN THE HOT-STAGE MICROSCOPE.  
Kromer H.  
Journal Ceramics, June 1971.
  
- PORUS SINTER PRODUCTION.  
Hans Rosenberg.  
Journal of Applied Geology, Vol. 15, Nov. 1969.

ESTA TESIS SE IMPRIMIO POR COMPUTADORA EN LOS  
TALLERES DE TESIS DE GUADALAJARA, S. A.  
FRENTE A LA FACULTAD DE MEDICINA  
MEDICINA # 25. CIUDAD UNIVERSITARIA.

TELEFONOS: 550-72-57

548-62-15

550-87-43

548-62-29

548-33-44

548-87-46