

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO SOBRE LA CENIZA VOLCÁNICA
COMO AGREGADO PARA EL CONCRETO

César Oscar Peña Carranza

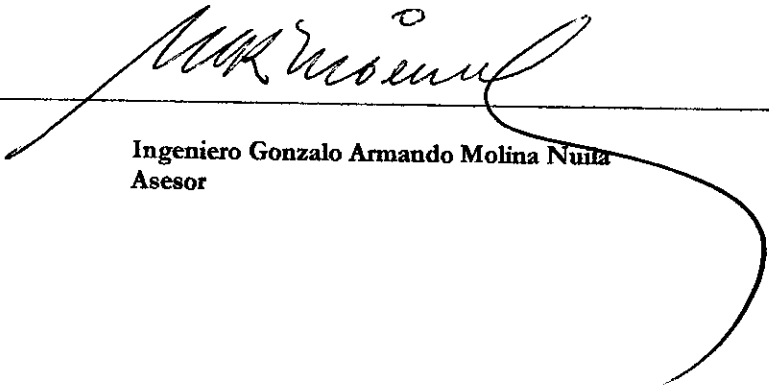
Trabajo de investigación presentado para optar
al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil



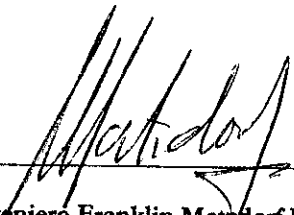
Guatemala


1999

Vo. Bo. :

(f) 
Ingeniero Gonzalo Armando Molina Núñez
Asesor

Tribunal :

(f) 
Ingeniero Franklin Matzdorf Monroy
Director del Departamento de Ingeniería Civil

(f) 
Ingeniera Margarita Jerez
Catedrática de Estructuras de Concreto

**A Dios nuestro Señor y
a la Virgen María**

**ESTUDIO SOBRE LA CENIZA VOLCÁNICA
COMO AGREGADO PARA EL CONCRETO**

CONTENIDO

PREFACIO	ix
-----------------	----

I. INTRODUCCIÓN	1
------------------------	---

II. ANTECEDENTES	3
-------------------------	---

III. EL CEMENTO	5
------------------------	---

A. Definición	5
---------------	---

B. Elaboración del cemento	5
----------------------------	---

C. Composición química del cemento Portland	5
---------------------------------------------	---

D. Tipos de cemento Portland	7
------------------------------	---

E. Usos de los diferentes tipos de cemento	8
--------------------------------------------	---

F. Cemento resistente a los sulfatos	9
--------------------------------------	---

IV. AGREGADOS	13
----------------------	----

A. Definición	13
---------------	----

B. Clasificación	13
------------------	----

C. Pruebas realizadas a la ceniza volcánica	14
---------------------------------------------	----

V. MEZCLA DE CONCRETO	21
A. Definición	21
B. Dosificación	21
C. Ruptura de cilindros de concreto tradicional	23
D. Ruptura de cilindros de concreto con ceniza volcánica como agregado fino	25
E. Análisis comparativo	27

VI. DISCUSIONES	29
------------------------	----

VII. CONCLUSIONES	31
--------------------------	----

VIII. RECOMENDACIONES	33
------------------------------	----

IX. BIBLIOGRAFÍA	35
-------------------------	----

PREFACIO

Los agregados y aditivos para las mezclas de concreto han sido tema de extensos estudios desde hace más de un siglo.

La ceniza volcánica es un elemento mineral de mucha abundancia en nuestro país, tanto en las cercanías de los volcanes activos como en los inactivos. La ceniza a la que se hace referencia en esta tesis es de las cercanías del volcán de Pacaya, ya que es muy accesible y poco contaminada. Por ser un material pétreo, aparenta ser buen candidato para agregado del concreto.

Los componentes del concreto son el cemento, los agregados inertes y agua. De los componentes del concreto únicamente el cemento es químicamente activo y reacciona con el agua, por lo que se requiere que los agregados sean realmente inertes.

Los sulfatos son agentes que desintegran el concreto, y es por eso que se hace necesario el análisis químico de la ceniza.

También son muy importantes las propiedades mecánicas de la ceniza, por lo que es necesario realizar varias pruebas avaladas por la American Society of Testing Materials (ASTM), y comparar los resultados con los obtenidos de agregados tradicionales.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se darán a conocer las razones por las que se concibió esta idea, y los fundamentos por los cuales se hace de vital importancia una investigación a fondo sobre el tema: *“la ceniza volcánica como agregado para el concreto”*.

Se darán a conocer definiciones y principios básicos sobre el cemento, los agregados y mezclas de concreto con el afán de ampliar el conocimiento y ayudar a la interpretación de los resultados finales.

En los capítulos donde exista algún tipo de prueba mecánica o química que se le haga a la ceniza volcánica, habrá énfasis en el estudio comparativo con agregados tradicionales.

II. ANTECEDENTES

En la presentación de un trabajo sobre mezclas de concreto se mencionó el *Fly Ash Concrete*. El hollín que se utiliza en esta mezcla es extraído de las plantas de generación eléctrica a base de carbón mineral.

Las mezclas de concreto utilizadas dan resultados sorprendentes. En los primeros 45 días de fraguado muestra una tendencia a la baja en la resistencia a la compresión. Pero después de los 90 días de fraguado la resistencia muestra un marcado aumento en la resistencia final a compresión. Sobrepasa hasta un 30% la resistencia final sobre los concretos tradicionales.

Como se trata de un material extremadamente fino, la dosificación se hace en porcentaje de peso sobre el cemento utilizado para la mezcla. Los porcentajes ideales resultan estar entre el 15% y 35% y dependen de las características químicas de la ceniza.

En una de las más recientes erupciones del volcán de Pacaya fue notorio que la ceniza volcánica era abundante en las poblaciones cercanas al mismo. Dichos eventos se dan con relativa frecuencia y esta ceniza se encuentra en numerosos bancos, tanto en volcanes activos como inactivos.

Al darle un vistazo a esta ceniza en la ciudad capital, se trataba de una arena extremadamente fina y a la vez contaminada por el polvo de la urbe. Por esta razón fue necesario extraer las muestras de la ceniza en las faldas del volcán de Pacaya.

Al observar las muestras obtenidas en el volcán se trata de un material pétreo de diferentes tamaños, por lo que es más adecuado utilizarlo como agregado del concreto que como aditivo.

III. EL CEMENTO

A. Definición

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Es un polvo fino grisáceo, debido a las materias primas usadas en su elaboración. Al ser mezclado con agua, reacciona con la misma, formando una pasta que endurece progresivamente con el tiempo, por lo que se llama cemento de fraguado hidráulico. El nombre de Cemento Portland resulta de la similitud al color de unas piedras en la isla de Portland, donde se hicieron las primeras investigaciones sobre el cemento en Inglaterra.

B. Elaboración del cemento

Para la elaboración del cemento se extrae piedra caliza y arcilla de las canteras. Luego se trituran los materiales para después pasar por un molino dosificador, donde se analiza químicamente la mezcla. La mezcla obtenida es un polvo fino que pasa por unos hornos rotatorios donde se cuece a temperaturas de 1,400 a 1,600 grados centígrados. El resultado de este procedimiento es un polvo grisáceo llamado clinker.

El cemento se obtiene como resultado de la mezcla de pequeñas proporciones de yeso con clinker. Luego es almacenado en silos para después ser distribuido en sacos o a granel.

C. Composición química del cemento Portland

Las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento Portland consisten principalmente en cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos compuestos interactúan en el

horno para formar una serie de productos más complejos, hasta alcanzar el estado de equilibrio químico, con la excepción de un pequeño residuo de cal no combinada, que no ha tenido suficiente tiempo de reaccionar. Sin embargo, el equilibrio no se mantiene durante el enfriamiento, y la velocidad de éste afectará el grado de cristalización y la cantidad de material amorfo presente en el clinker enfriado. Las propiedades de este material amorfo, conocido como vidrio, difieren en gran medida de los compuestos cristalinos de una composición química nominal similar. Otra complicación surge debido a la interacción de la parte líquida del clinker con los compuestos cristalinos ya presentes.

No obstante, puede considerarse que el cemento se encuentra en un estado de equilibrio congelado, es decir, que los productos congelados reproducen el equilibrio existente durante la temperatura de formación del clinker. De hecho, se hace esta suposición para calcular la composición de compuestos de los cementos comerciales. La composición potencial se calcula a partir de las cantidades precisas de óxidos que están presentes en el clinker, como si hubiera producido una cristalización completa de los productos en equilibrio.

Suelen considerar cuatro compuestos como los componentes principales del cemento que se detallan en la siguiente tabla.

TABLA 1 Componentes principales del cemento Portland

<i>Nombre</i>	<i>Composición del Óxido</i>	<i>Abreviatura</i>
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Aluminio tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminioferrito tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Además de los componentes principales existen componentes menores como MgO , TiO_2 , Mn_2O_3 , K_2O y Na_2O que generalmente no sobrepasan un pequeño porcentaje del peso del cemento.

D. Tipos de cemento Portland

Los diferentes tipos de cemento llevan la misma base y de acuerdo con el uso, se le agregan aditivos para obtener los resultados deseados. Los principales tipos de cemento y sus usos se describen en la siguiente tabla.

TABLA 2 Principales tipos de cemento Portland

<i>Descripción Inglesa</i>	<i>Descripción ASTM</i>
Portland Normal (estándar)	Tipo I
Portland de fraguado rápido (alta resistencia inicial)	Tipo III
Portland de fraguado extra rápido	
Portland de ultra alta resistencia rápida	
Portland de bajo calor	Tipo IV
Cemento modificado (calor moderado)	Tipo II
Portland resistente a los sulfatos	Tipo V
Portland de escoria de alto horno	Tipo IS
Portland blanco	
Portland puzolana	{ Tipo IP Tipo P
Cemento con escoria	Tipo S

Nota: Los cementos Tipo I, IS, IP, P, S, II, y III se elaboran también con un agente inclusor de aire y se denotan por la letra A, por ejemplo Tipo IA.

Actualmente en Guatemala se fabrican los siguiente tipos de cemento:

1. Tipo I - 4000 PSI
2. Tipo I - 5000 PSI
3. Tipo V
4. Tipo API - clase H

Entre los cementos tipo I de 4000 PSI y 5000 PSI la diferencia es la resistencia alcanzada. Las clases de resistencia representan grados o niveles de resistencia en que se clasifican los cementos para ayudar al usuario a escoger lo que realmente necesita, y para promover una justa competencia entre los cementos disponibles en el mercado.

TABLA 3 Composición de los principales tipos de cemento Portland

<i>NORMA AMERICANA</i>	% C ₃ S	% C ₂ S	% C ₃ A	% C ₄ AF
I Estándar	43	31	12	8
II Calor Moderado	43	30	6	13
III Alta resistencia inicial	56	15	12	8
IV Poco calor	21	51	6	14
V Resistencia a sulfatos	43	40	5	7

E. Usos de los diferentes tipos de cemento

El cemento Portland tipo I de 4000 PSI es un cemento mezclado o adicionado que contiene hasta 15% de toba volcánica y para uso general en la construcción con una clase de resistencia de 4000 PSI, por lo que debe usarse preferentemente en estructuras que no requieren altas resistencias, lo que comprende la mayoría de construcciones medianas y

pequeñas. Debido a que contiene puzolanas, produce concretos más durables e impermeables, resistentes a ataques químicos moderados, de aguas o suelos agresivos.

El cemento Portland tipo I de 5000 PSI es un cemento ordinario de clase de resistencia 5000 PSI por lo que es el más indicado para usarse en estructuras que requieren mayores resistencias mecánicas.

El cemento Portland tipo III es de alta resistencia inicial, requisito que también cumple el cemento Portland tipo I de 5000 PSI. Este cemento es ampliamente usado por fábricas de bloques, tubos y prefabricados de concreto.

El cemento Portland tipo API clase II posee alta resistencia a la temperatura y presiones elevadas. Es usado en la cementación de paredes en agujeros de perforación y en el interior de tubos metálicos para extracción de petróleo.

El cemento Portland tipo V es muy importante en este caso, que se usa en obras que están expuestas al agua de mar y las cercanas al litoral, o a suelos y aguas con alto contenido de sulfatos. Dicha importancia se deriva del origen de la ceniza volcánica que se usa como sustituto de los agregados minerales del concreto.

F. Cemento resistente a los sulfatos

Al hablar de las reacciones de hidratación del concreto, y en particular del proceso de fraguado, existe una formación de sulfoaluminato de calcio debido a la reacción entre C_3A y el yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). En el cemento endurecido, el hidrato de aluminato de calcio puede reaccionar de manera parecida con alguna sal de sulfato que venga fuera del concreto. El producto de la adición es un sulfoaluminato de calcio que se forma dentro de la masa de la pasta de cemento hidratado. Ya que el incremento de volumen de la fase sólida es del 227% sobreviene una desintegración gradual del concreto. Un segundo tipo de reacción se

produce al intercambiar bases entre el hidróxido de calcio y los sulfatos, que da como resultado la formación de yeso con un incremento de volumen en la fase sólida del 124%.

Estas reacciones se conocen como ataque de sulfatos. Las sales particularmente activas son el sulfato de sodio y de magnesio. El ataque de los sulfatos se acelera si va acompañado por una sucesión de estados recíprocos mojados y secos.

La solución es usar cementos con bajo contenido de C_3A . La norma inglesa para este cemento (BS4027:1980) estipula un contenido de C_3A del 3.5%. La finura mínima es de 250 m^2/kg . En los demás aspectos, el cemento resistente a los sulfatos debe cumplir con la BS12:1978 para cemento Portland normal. En Estados Unidos de América el cemento resistente a los sulfatos se conoce como Tipo V y está incluido en la norma ASTM C 150:78a. Esta especificación limita el contenido de C_3A al 5% y también restringe la suma del contenido de C_4AF a más del doble del contenido de C_3A al 20%. El contenido de óxido de magnesio está limitado a un 6%.

El papel que desempeña el C_4AF no está muy claro. Desde el punto de vista químico, se debería esperar que el C_4AF formaría sulfoaluminato de calcio y sulfoferrita de calcio, por lo tanto, que produjera expansión. Sin embargo, parece que la acción del sulfato de calcio en el cemento hidratado disminuye al reducirse la relación Al_2O_3,Fe_2O_3 . Se forman algunas soluciones sólidas, susceptibles a un ataque relativamente pequeño. La ferrita tetracálcica es aún más resistente, y puede formar una capa protectora alrededor de cualquier aluminato de calcio libre.

Ya que a menudo no es factible reducir el contenido de Al_2O_3 de la materia prima, se puede agregar a la mezcla Fe_2O_3 de tal forma que el contenido de C_4AF aumenta a costa del C_3A .

La baja proporción de C_3A y el contenido comparativamente bajo de C_4AF del cemento resistente a sulfatos significa que éste tiene un alto contenido de silicatos que le

proporcionan una alta resistencia, pero como el $4\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ representa una alta proporción de silicatos, la resistencia a edades tempranas es baja. El calor desarrollado por el cemento resistente a sulfatos no es mucho mayor que el del cemento de bajo calor. Por lo tanto, parecería que el cemento resistente a sulfatos debería ser, en teoría, un cemento ideal; pero debido a los requisitos especiales para la composición de la materia prima necesaria para su elaboración, el cemento resistente a sulfatos no puede fabricarse de una manera económica.

IV. AGREGADOS

A. Definición

Los agregados son un material granular inerte que al mezclarse con la pasta de cemento forman el concreto o mortero. Constituyen de un 65% a un 75% del volumen total del concreto. Debido a que influyen mucho en la resistencia y durabilidad del concreto, es importante seleccionarlos adecuadamente.

B. Clasificación

Para hacer el concreto se necesitan dos clases de agregados: fino y grueso.

El agregado fino constituye la arena que está formada por partículas muy pequeñas. La mayor parte de este agregado pasa por un tamiz con abertura de 5 mm (3/16"). Generalmente se dice que la arena tiene un límite de tamaño menor, del orden de 0.07 mm o menos. El material entre 0.06 y 0.002 mm se clasifica como limo y, si son partículas más pequeñas, se les conoce como arcillas.

Al agregado grueso se le llama piedrín o grava, y está compuesto por partículas de tamaño mayor que 5 mm (3/16").

Por su origen y los medios de obtención y procesamiento, los agregados se clasifican en naturales y artificiales.

Los agregados naturales son las gravas y arenas del fondo y de las orillas de los ríos y quebradas. Por lo general son partículas de forma redondeada, llamadas también de canto

rodado. Y los agregados artificiales son los que se extraen de canteras o minas y se preparan por trituración de fragmentos de roca, lo que da partículas de formas angulosas.

C. Pruebas realizadas a la ceniza volcánica

Todas las pruebas fueron realizadas bajo los lineamientos del “Libro anual de estándares de la Asociación Americana de Prueba de Materiales” (ASTM), sección de construcción, volumen del concreto y sus agregados.

1. Resistencia a la degradación de pequeñas partículas de agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles

Código de la prueba: (ASTM C 131-81)

La prueba de Los Angeles da como resultado una medida de degradación de los agregados minerales, resultado de la acción de abrasión e impacto. Esta prueba ha sido ampliamente utilizada como indicador de la calidad del agregado grueso.

Características de la muestra de ceniza volcánica:

- i. 100% pasa tamiz 25.0 mm (1 plg)
- ii. 100% retenido en tamiz 19.0 mm (3/4 plg)
- iii. Peso de la muestra lavada y secada al horno $W_o = 1143.0$ g

Esta muestra fue introducida a la máquina de Los Angeles junto con 12 esferas de acero cuyos pesos sumaban 5000 g. Luego de 500 revoluciones, la muestra fue lavada nuevamente y secada al horno. Después de este procedimiento el peso retenido en el tamiz No. 12 fue de 141 g.

El índice de abrasión está dado por el porcentaje de pérdida de peso después de la prueba que se calcula de la siguiente forma:

$$(1143-141 / 1143) * 100 = 87.66 \% \text{ de pérdida de peso}$$

El límite permisible de pérdida de peso es de 50%, por lo cual se concluye que la ceniza volcánica no es un material adecuado como para ser utilizado como agregado grueso en concreto estructural.

2. Análisis granulométrico de agregado fino

Código de la prueba: (ASTM C 136-84a)

Características de la muestra de ceniza volcánica:

- i. 100% pasa tamiz 9.5 mm (3/8 plg)
- ii. Peso de la muestra secada al horno $W_o = 102.0$ g

TABLA 4 Análisis granulométrico comparativo para agregados finos

Tamiz	Diámetro	% que pasa en peso	
		Óptimo	Ceniza Volcánica
3/8	9.5 mm	100	100
4	4.75 mm	95 a 100	99.95
8	2.36 mm	80 a 100	97.55
16	1.18 mm	50 a 85	58.98
30	600.00 μm	25 a 60	33.28
50	300.00 μm	10 a 30	18.51
100	150.00 μm	2 a 10	11.52

3. Peso unitario y vacíos del agregado fino

Código de la prueba: (ASTM C 29-87)

TABLA 5 Ensayo de peso unitario

Descripción	Ensayo No.		
	1	2	3
Peso bruto	17.73	17.77	17.79
Tara	14.46	14.46	14.46
Peso neto	3.27	3.31	3.33
Peso unitario	43.60	44.10	44.40
Promedio	44.0 lb / pié ³ 704.81 kg / m ³		

4. Gravedad específica y absorción del agregado fino

Código de la prueba: (ASTM C 128-84)

TABLA 6 Gravedad específica y absorción del agregado fino

Descripción	Ensayo No.		
	1	2	3
Tara	507.40	507.40	507.40
Tara + agua	1184.00	1184.30	1184.30
Material + tara	753.80	788.80	788.80
Material	246.40	281.40	281.40
Material + (tara + agua) - (material + agua + tara)	1309.80	1328.10	1328.10
Gravedad específica	2.04	2.04	2.04
Promedio gravedad específica			2.04
% de vacíos			65.40
% de absorción			14.80

5. Desintegración del sulfato de sodio

Código de la prueba: (ASTM C 88-84)

TABLA 7 Desintegración del sulfato de sodio

Tamiz		Graduación por fracción	Pesos		% de desgaste	Desgaste ref. a graduación
Pasa	Retenido		Antes del ensayo	Después del ensayo		
No. 8	No. 16	7.3	100	96	4	0.29%
No. 16	No. 30	16.8	100	0	0	0.67%
No. 30	No. 50	43.4	100	96	4	1.73%
No. 50	No. 100	22.3	100	96	4	0.89%
Totales						3.58%

El desgaste por desintegración del sulfato de sodio no debe ser mayor al 15% en peso para que el material sea apropiado para usarse en el concreto.

6. Materia orgánica – clasificación colorimétrica

TABLA 8 Clasificación colorimétrica

Clasificación	Coloración	Empleo	Reducción de resistencia para mortero 1:3 de 7 a 28 días
1	Incoloro	Arena apropiada para concreto de alta calidad	0%
2	Amarillo pálido	Arena apropiada para estructuras de poca importancia	10 a 20%
3	Amarillo claro	Arena que no debe utilizarse en concreto	15 a 30%
4	Rojizo claro	Arena de extraordinaria mala calidad	25 a 50%
5	Rojizo oscuro		50 a 100%

Descripción del color: Completamente incoloro

Ensayo de materia orgánica: 1 - Arena apropiada para concreto de alta calidad –

V. MEZCLA DE CONCRETO

A. Definición

El concreto está constituido por partículas de agregado inerte unidas por una pasta hecha de cemento Portland y agua. La pasta llena el espacio entre las partículas del agregado y después se endurece como resultado de reacciones químicas exotérmicas entre el cemento y el agua, para formar un material sólido y duradero.

B. Dosificación

La mayoría de mezclas de concreto tienen una proporción relativa de sus componentes. Estos componentes son cemento, agua, aire y agregados inertes.

TABLA 9 Composición del concreto

Agua libre y aire	12-15%
Agua que reacciona con el cemento	03-05%
Cemento	06-16%
Agregados	66-77%

La calidad de los materiales que conforman la mezcla, la proporción de los mismos, la forma de mezclado, el manejo y la colocación, el curado que se le haya proporcionado y la edad son factores esenciales que determinan la calidad final del concreto.

TABLA 10 Proporción de los componentes del concreto

Ingrediente	Tipo de mezcla		
	Poca resistencia	Mediana resistencia	Alta resistencia
Cemento	1.00 saco	1.00 saco	1.00 saco
Arena	2.50 pié ³	2.00 pié ³	1.5 pié ³
Piedrín	3.50 pié ³	2.50 pié ³	2.5 pié ³
Agua	20 a 25 litros por saco de cemento		
Volumen obtenido	4.25 pié ³	3.50 pié ³	3.20 pié ³

El concreto de poca resistencia se puede utilizar en cajas de registro, rellenos previos a la fundición de banquetas o pisos, etc.

El concreto de mediana resistencia puede usarse para la construcción de aceras, pisos, postes para cercos, etc.

El concreto de alta resistencia sirve para la construcción de cimientos, zapatas, columnas, tanques o depósitos de agua y cualquier otro miembro estructural.

La mezcla utilizada para fines de este estudio fue para concreto de alta resistencia, utilizando el cemento tipo I – 5000 PSI para el concreto tradicional y el cemento tipo V para el concreto con ceniza volcánica.

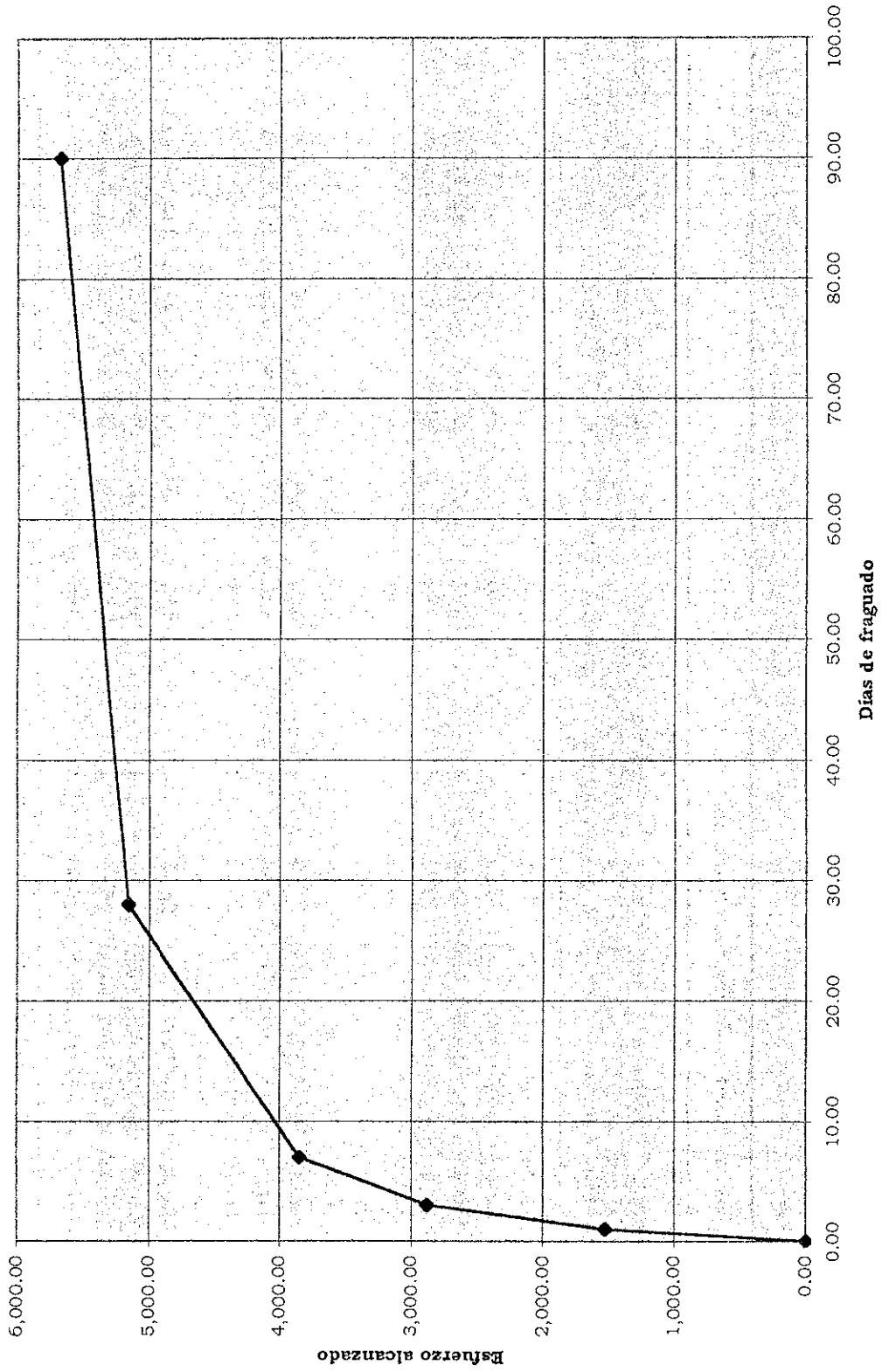
C. Ruptura de cilindros de concreto tradicional

TABLA 11 Ruptura de cilindros de concreto tradicional

No. de cilindro	Fecha de fundición	Fecha de ruptura	Edad (días)	Peso (libras)	Revenimiento (pulgadas)	Diámetro (pulgadas)	Área (pulg. ²)	Volumen (pulg. ³)	Peso aparente (lb/pie ³)	Carga (libras)	Esfuerzo (lbs/pulg ²)
1	8-Mar-99	9/03/1999	1.00	26.91	4	5.90	27.34	328.08	141.74	42,000.00	1,536.23
2	8-Mar-99	9/03/1999	1.00	27.24	4	6.10	29.22	350.70	134.22	45,500.00	1,556.90
3	8-Mar-99	9/03/1999	1.00	26.94	4	5.98	28.09	337.03	138.12	42,000.00	1,495.40
4	8-Mar-99	11/03/1999	3.00	25.94	4	5.90	27.34	328.08	136.63	80,000.00	2,926.15
5	8-Mar-99	11/03/1999	3.00	26.94	4	5.98	28.09	337.03	138.12	80,500.00	2,866.18
6	8-Mar-99	11/03/1999	3.00	24.74	4	5.98	28.09	337.03	126.84	80,000.00	2,848.38
7	8-Mar-99	15/03/1999	7.00	26.98	4	5.98	28.09	337.03	138.33	110,000.00	3,916.52
8	8-Mar-99	15/03/1999	7.00	27.89	4	6.02	28.46	341.56	141.10	106,000.00	3,724.11
9	8-Mar-99	15/03/1999	7.00	25.84	4	5.90	27.34	328.08	136.10	107,000.00	3,913.72
10	8-Mar-99	5/04/1999	28.00	27.32	4	5.94	27.71	332.54	141.96	140,000.00	5,052.02
11	8-Mar-99	5/04/1999	28.00	27.07	4	5.94	27.71	332.54	140.67	147,000.00	5,304.62
12	8-Mar-99	5/04/1999	28.00	28.47	4	5.90	27.34	328.08	149.95	140,000.00	5,120.76
13	8-Mar-99	6/06/1999	90.00	27.81	4	6.10	29.22	350.70	137.03	152,000.00	5,201.09
14	8-Mar-99	6/06/1999	90.00	25.96	4	5.90	27.34	328.08	136.73	162,000.00	5,925.45
15	8-Mar-99	6/06/1999	90.00	27.66	4	5.98	28.09	337.03	141.82	166,000.00	5,910.39

$$\bar{\gamma} = \begin{matrix} 138.62 \text{ lb/pie}^3 \\ 2220.48 \text{ kg/m}^3 \end{matrix}$$

Concreto tradicional



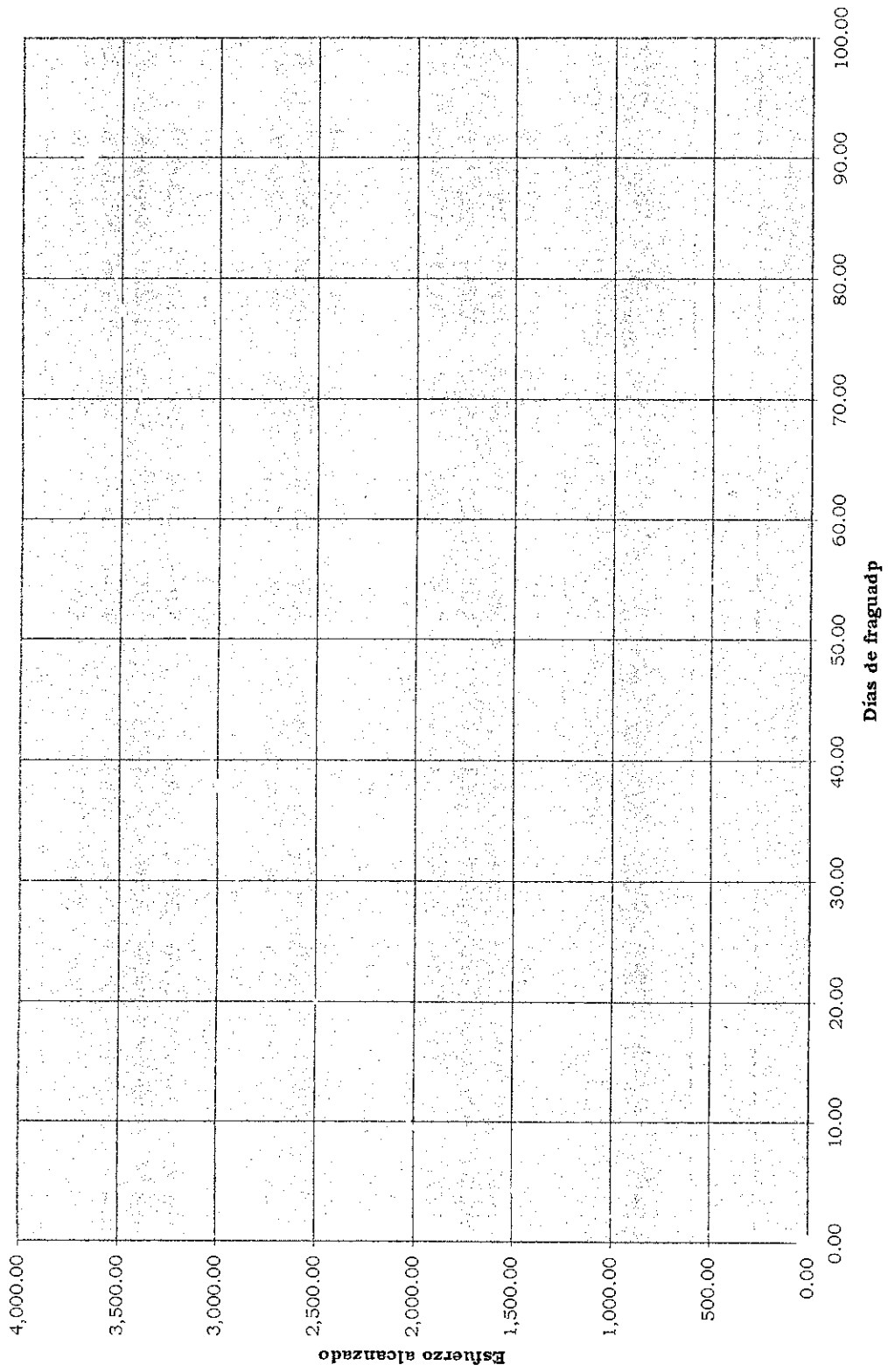
D. Ruptura de cilindros de concreto con ceniza volcánica como agregado fino

TABLA 12 Ruptura de cilindros de concreto con ceniza volcánica como agregado fino

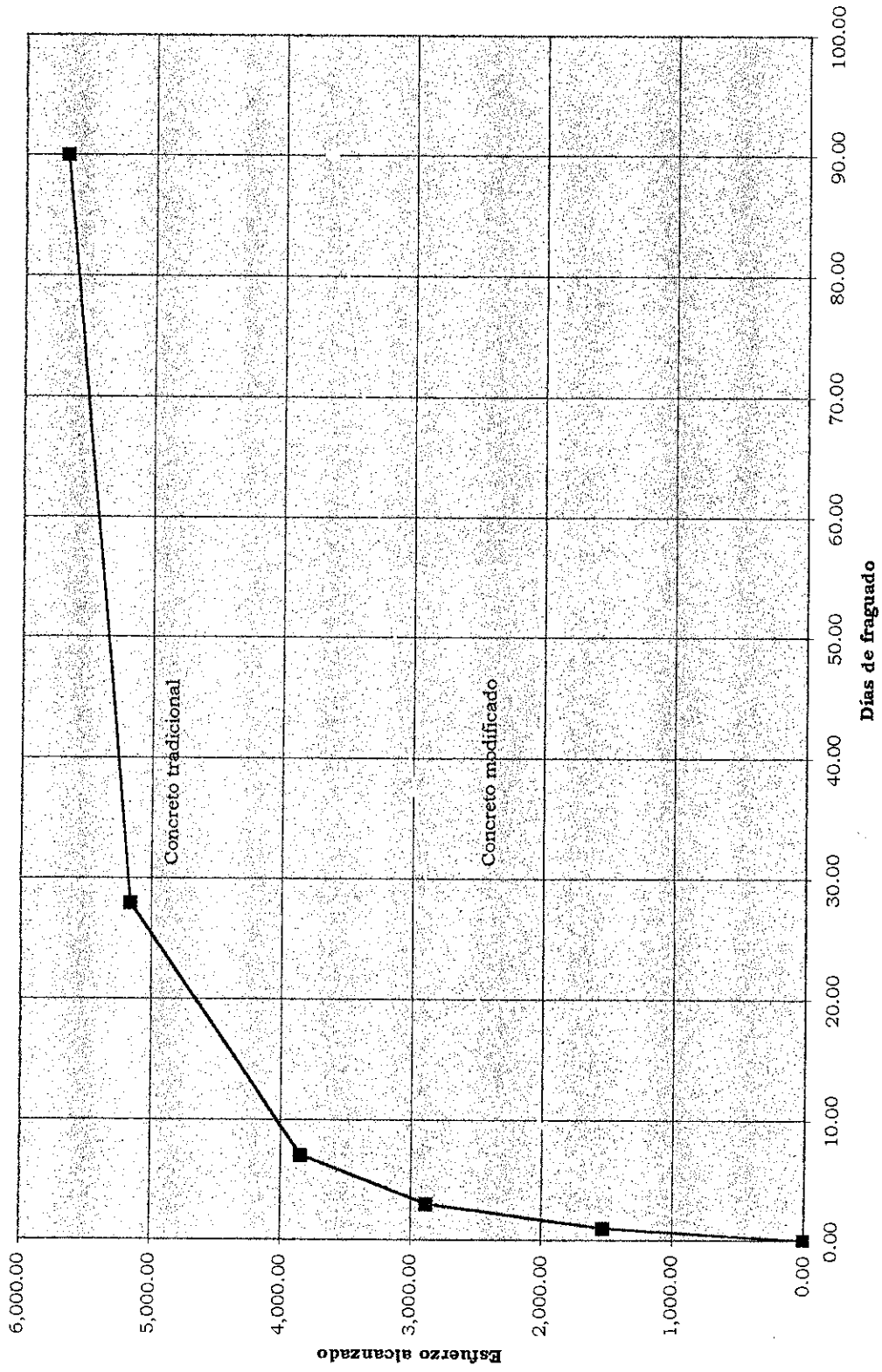
No. de cilindro	Fecha de fundición	Fecha de ruptura	Edad (días)	Peso (libras)	Revenimiento (pulgadas)	Diámetro (pulgadas)	Area (pulg.^2)	Volumen (pulg.^3)	Peso aparente (lb/pie^3)	Carga (libras)	Esfuerzo (lbs/pulg^2)
1	8-Mar-99	9/03/1999	1.00	24.75	3.50	5.90	27.34	328.08	130.36	15,500.00	566.94
2	8-Mar-99	9/03/1999	1.00	25.94	3.50	5.98	28.09	337.03	133.00	15,000.00	534.07
3	8-Mar-99	9/03/1999	1.00	24.37	3.50	5.90	27.34	328.08	128.36	16,000.00	585.23
4	8-Mar-99	11/03/1999	3.00	26.08	3.50	5.98	28.09	337.03	133.71	39,500.00	1,406.39
5	8-Mar-99	11/03/1999	3.00	25.56	3.50	5.90	27.34	328.08	134.63	32,000.00	1,170.46
6	8-Mar-99	11/03/1999	3.00	26.22	3.50	6.02	28.46	341.56	132.65	40,000.00	1,405.33
7	8-Mar-99	15/03/1999	7.00	24.53	3.50	5.87	27.06	324.75	130.53	44,000.00	1,625.87
8	8-Mar-99	15/03/1999	7.00	24.78	3.50	5.90	27.34	328.08	130.52	53,000.00	1,938.57
9	8-Mar-99	15/03/1999	7.00	24.86	3.50	5.90	27.34	328.08	130.94	57,000.00	2,084.88
10	8-Mar-99	5/04/1999	28.00	25.29	3.50	5.90	27.34	328.08	133.20	78,000.00	2,852.99
11	8-Mar-99	5/04/1999	28.00	26.4	3.50	5.94	27.71	332.54	137.18	80,000.00	2,886.87
12	8-Mar-99	5/04/1999	28.00	25.52	3.50	5.90	27.34	328.08	134.42	79,000.00	2,889.57
13	8-Mar-99	6/06/1999	90.00	24.88	3.50	5.87	27.06	324.75	132.39	95,000.00	3,510.41
14	8-Mar-99	6/06/1999	90.00	26.34	3.50	5.98	28.09	337.03	135.05	105,000.00	3,738.50
15	8-Mar-99	6/06/1999	90.00	25.49	3.50	5.90	27.34	328.08	134.26	102,000.00	3,730.84

$$\bar{\gamma} = \frac{132.75 \text{ lb/pie}^3}{2126.45 \text{ kg/m}^3}$$

Concreto con ceniza volcánica como agregado fino



E. Análisis comparativo



1
1
1

VI. DISCUSIONES

Se acostumbra que la resistencia de diseño para el concreto f_c , es la alcanzada durante la ruptura de los cilindros a los 28 días de fraguado. Los promedios de los cilindros a los 28 días estuvieron en 5,159.13 PSI para el concreto tradicional y en 2,876.48 PSI para el concreto con ceniza volcánica como agregado fino para el concreto.

Ambas mezclas fueron diseñadas para alcanzar un $f_c = 5,000$ PSI, guardando la misma relación agua:cemento y utilizando el mismo agregado grueso. La diferencia entre ambas mezclas es que en el concreto tradicional se utilizó cemento Portland Tipo I de 5,000 PSI, mientras que en el concreto con ceniza volcánica se utilizó cemento Portland Tipo V.

Podemos observar que el revenimiento en la mezcla del concreto tradicional fue de 4 pulgadas, mientras que la del concreto con ceniza volcánica fue de 3.5 pulgadas. Esto lo podemos atribuir a la elevada absorción que mostró la ceniza en la prueba ASTM C128-84, ya que la cantidad de agua fue la misma para ambas mezclas.

Para el agregado fino el límite máximo que pasa en el tamiz #100 es de 10% según la prueba ASTM C136-84a. Como podemos observar, la ceniza volcánica mostró en 11.52 % que pasa el tamiz #100. Esto nos lleva a una tendencia hacia los finos, lo que puede afectar la adherencia del cemento en la mezcla del concreto. Una vez más queda comprobada la facilidad a la degradación de esta ceniza en específico, ya que durante la recolección en el banco del material no mostraba esta tendencia.

Su alto contenido en hierro hace que las partículas tengan cierto grado de magnetismo. Esto se logró observar en una muestra molida que pasaba tamiz #200, donde existía un grupo de partículas más oscuras que las demás y permanecían unidas sobre la superficie del resto de material. El magnetismo pudo perderse durante el manipuleo, la hornada del

material y el tiempo transcurrido entre su recolección y la elaboración de las pruebas (alrededor de 2 meses).

La ceniza volcánica presentaba un peso unitario de 44.0 lbs/pic³, por lo que es razonable un 65.40% de vacíos según la prueba ASTM C29-87. Esto influye considerablemente en la diferencia de densidades entre el concreto tradicional con 138.62 lbs/pic³ y el concreto con ceniza volcánica con 132.75 lbs/pic³.

VII. CONCLUSIONES

El concreto con ceniza volcánica obtiene menor resistencia final a la compresión que el concreto tradicional.

La ceniza volcánica no puede utilizarse como agregado grueso para el concreto por su elevada degradación en la prueba ASTM C131-81.

La densidad del concreto con ceniza es menor a la del concreto tradicional, pues el peso unitario de la ceniza es muy bajo y tiene un alto contenido de vacíos.

La poca desintegración que obtuvo en la prueba ASTM C88-84 y la coloración nula en la clasificación colorimétrica, clasifica a la ceniza volcánica como agregado fino apropiado para concreto de alta calidad.

La presencia de un alto contenido de finos afecta la resistencia final del concreto.

VIII. RECOMENDACIONES

Los resultados y las interpretaciones del presente estudio son únicos para la muestra de ceniza obtenida en el volcán de Pacaya. Se recomienda hacer estudios comparativos entre distintos tipos de ceniza de diferentes volcanes en busca de mejores características.

Deben realizarse estudios con el concreto sin revenimiento con ceniza para contemplar la fabricación de bloques, tubos, adoquines, etc.

Se pueden hacer cercos prefabricados y otro tipo de estructuras de poca importancia estructural, donde la resistencia de diseño para el concreto no sobrepase 2,500 PSI.

Deben realizarse más estudios sobre las diferentes alternativas del uso de la ceniza volcánica. Por ejemplo, cambiar el tipo de cemento utilizado para la mezcla y/o proporciones de los componentes que lo integran.

Un estudio que también debe realizarse, es usar la ceniza como aditivo del concreto y comparar los resultados con los obtenidos del Fly Ash Concrete.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- _____ ; Anual Book of ASTM Standards. Sección 4 Volumen 4.02.
1,988
- _____ ; Control De Calidad Del Concreto. México, D.F., Editorial Limusa,
1,988 S.A., de C.V. 70 pp.
- _____ ; Durabilidad Del Concreto. México, D.F., Editorial Limusa, S.A.,
1,989 de C.V. 87 pp.
- Ferguson, M. Fundamentos Del Concreto Reforzado. 3a. ed. México, D.F.,
1,983 Compañía Editorial Continental. 814 pp.
- _____ ; Hablemos En Concreto. Fascículos 1,2 y 4. Guatemala, Cementos
1,995 Progreso, S.A.,
- Mather, M. Agregados Para Concreto. México, D.F., Editorial Limusa, S.A., de C.V.
1.990 70 pp.
- Neville, A. Tecnología Del Concreto, Tomos I y II. México, D.F., Editorial Limusa,
1,984 S.A., de C.V. 284 y 325 pp.
- Nilson, A.; Winter, G. Diseño De Estructuras De Concreto. 11a.ed. Santafé de
1,994 Bogotá, McGraw-Hill. 770 pp.