



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

29
27

**ESTUDIO DE CONTAMINACION EN EL CONCRETO
POR INCLUSION DE BENTONITA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

JOSE MANUEL BLANCO OCHOA

México, D. F.

1984



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.

INDICE

I.	INTRODUCCION	1
II.	PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES	3
	II.1 CEMENTO	3
	II.2 AGREGADOS	4
	II.3 LODO BENTONITICO	8
III.	OBTENCION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES EN EL LABORATORIO	16
	III.1 MUESTREO	16
	III.2 GRANULOMETRIA	16
	III.3 DENSIDAD, ABSORCION Y HUMEDAD	18
	III.4 PESO VOLUMETRICO	21
	III.5 BENTONITA	22
IV.	DESCRIPCION DEL TIPO DE MEZCLAS EMPLEADAS	29
	IV.1 CONSIDERACIONES GENERALES	29
	IV.2 METODO DEL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI)	30
	IV.3 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO Y PROPORCIONAMIENTO DE LODO BENTONITICO	36
V.	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	44
	V.1 TRABAJABILIDAD	44
	V.2 FRAGUADO	45
VI.	COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	47
	VI.1 PRUEBA DE COMPRESION	48
	VI.2 PRUEBA DE FLEXION	49
VII.	RESULTADOS	51
	VII.1 FRAGUADO	51
	VII.2 COMPRESION	59
	VII.3 FLEXION	68
VII.	CONCLUSIONES	69
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	71

I. INTRODUCCION

El concreto esta compuesto principalmente de cemento, agregados y agua, los cuales al mezclarse forman una pasta homogénea, manejable y moldeable que endurece en un periodo corto de tiempo.

Una de las múltiples formas de aplicación que tiene el concreto en la actualidad, consiste en la construcción de ciertos muros tablestaca colados en sitio, denominados muro Milán.

El proceso constructivo de un muro Milán comienza con una excavación en zanja, empleando equipo o maquinaria --- cuya herramienta de corte sea guiada, con objeto de ofrecer una amplia garantía en la verticalidad y alineamiento, que permita alcanzar sin problemas la profundidad de proyecto. Es en esta etapa cuando se añade lodo bentonítico, el cual tiene como objetivo principal asegurar la estabilidad de los taludes de la excavación y a la vez que el nivel freático, si lo hay, se mantenga estable.

Una vez garantizada la profundidad de excavación, se introduce un refuerzo en forma de parrillas de acero y se colocan tubos para colado con juntas herméticas para impedir que se introduzca el lodo. Al tramo que sobresale, se le añade un embudo o tolva, para efectuar la descarga del concreto.

Una forma de comprobar si el colado efectuado en la excavación es aceptable, es verificar que el concreto añadido, sea igual al lodo desplazado, si no es así, se puede

suponer que hay fugas o que el lodo se mezcló con el concreto y que las propiedades del concreto cambiaron, pero ¿cuanto? o ¿en que forma?. Estas preguntas y el interés por conocer que es lo que sucede cuando se mezcla el lodo bentonítico con el concreto, fue lo que motivó a efectuar una investigación referente a la contaminación del concreto por inclusión de bentonita.

En el area del diseño de mezclas existe una gran cantidad de información, así como también en el campo de la elaboración de lodo bentonítico, pero considerando una mezcla de concreto en combinación con lodo bentonítico, la información es casi nula.

En esta investigación se pretende conocer los efectos que se producen al mezclar concreto y lodo bentonítico en diferentes porcentajes, en cuanto a resistencia y comportamiento en estado fresco y endurecido principalmente.

Para cumplir con los objetivos planteados anteriormente se analizara en una primera etapa, que integra los capítulos II y III, las propiedades físicas de los elementos que componen el concreto y el procedimiento de laboratorio para determinar cada una de las propiedades.

En la segunda etapa, descrita en el capítulo IV, se mencionan los tipos de mezclas utilizadas y las proporciones de lodo bentonítico añadidas a la mezcla para formar el concreto contaminado.

La tercera etapa, cubierta en los capítulos V y VI, comprende el estudio del comportamiento del concreto, fresco y endurecido, a través de una serie de pruebas estandarizadas.

Por último, se analizan los resultados obtenidos en cada etapa.

II. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES

Para la elaboración del concreto se requiere efectuar una selección adecuada de los materiales que forman una mezcla. Para tal fin se necesitan conocer algunas de sus propiedades físicas, establecidas de acuerdo a una serie de normas estandarizadas.

En esta tesis solamente se seguirán los principios que marca la American Society for Testing and Materials (ASTM) (1) y la American Concret Institute (ACI) (2).

II.1 CEMENTO

El cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto.

La norma ASTM C-5 marca la composición química que debe cumplir el cemento Tipo I.

Oxido de Calcio	75% min.
Magnesio	20% min.
Oxido de Hierro, silicato y alúmina	5% min.
Dióxido de carbono	3% min.

II.2 AGREGADOS

El porcentaje que ocupan los agregados en la fabricación de concreto varia del 70 al 80% y es por esto que el conocimiento y obtención de sus propiedades físicas es importante.

Para el análisis en laboratorio de las propiedades físicas de los agregados, se requiere primeramente que la muestra por estudiar sea representativa del volumen total de material por utilizar.

II.2.1 MUESTREO

El muestreo es la operación que compone un lote de material, tomando varias porciones de diferentes partes del todo. El número mínimo de porciones para formar una muestra de material es de 10, y la muestra en peso no deberá ser menor que las cantidades de la siguiente tabla.

TABLA II.1

Tamaño de la partícula en proporciones importantes(mm.)	Peso mínimo de la muestra para prueba(kg.)
25 o mayor	50
5 a 25	25
5 o menor	13

Para reducir aún mas la muestra y poder trabajar con ella en el laboratorio se emplea un método llamado "cuarteo", el cual consiste en hacer cuatro partes del lote y seleccionar al azar dos de ellas en diagonal, unir las en

forma de cono y volver a formar cuatro partes, separar -- otras dos y formar nuevamente un cono; se repite el pro-- ceso hasta obtener una muestra de aproximadamente un Kg.. Para facilidad del método, existen cuarteadores tanto pa-- ra grava como para arena, los cuales estan reglamentados-- por la ASTM.

Para elaborar concreto se necesitan conocer las carac-- terísticas que se describen a continuación:

II.2.2 ANALISIS GRANULOMETRICO

II.2.3 DENSIDAD, ABSORCION Y HUMEDAD

II.2.4 PESO VOLUMETRICO

II.2.2 ANALISIS GRANULOMETRICO

El análisis granulométrico, es la operacion de separar-- una muestra de agregados de acuerdo a un mismo tamaño. Para -- efectuar dicha separación existen tamices con diferentes -- aberturas, quedando definidos los tamaños de abertura por-- la norma E11 de ASTM (3).

La operacion de tamizar o cribar puede efectuarse a -- mano o mecanicamente.

Los valores obtenidos para cada tamaño se expresan en-- porcentaje del peso total de la muestra, despues se acumu-- lan los valores y se grafican en curvas, llamadas curvas -- granulométricas. En estas gráficas o curvas granulométricas las ordenadas representan los porcentajes acumulados que -- pasan el tamiz que identifica un tamaño dado; y en las ab-- cisas, las aberturas del tamiz en escala logarítmica.

Existe otra característica importante de mencionar en-- la utilización de porcentajes acumulados que pasan los ta-- mices: el modulo de finura (M.F.), el cual representa el - tamaño promedio de las particulas, en otras palabras, cuan

do el módulo de finura es bajo, representa que existen más partículas finas que gruesas, en el caso contrario, cuando el M.F. es grande, existen más partículas grandes que finas.

Para determinar si las características de los agregados son adecuadas existen gráficas "tipo" con límites definidos donde se puede observar si los agregados son adecuados o no.

La norma ASTM C-33 (4) define las características de -- granulometría de arena (tabla 1) de acuerdo a los porcentajes que pasan por los tamices. Para el caso de gravas, ---- (tabla II.2) delimita las características según el tipo y -- el tamaño máximo.

Las gráficas II.1 y II.2 para gravas y arenas muestran en forma de porcentajes acumulados, los requisitos de los -- límites reales de granulometría; las líneas punteadas re--- presentan los valores obtenidos para esta investigación.

El tamaño máximo de partículas se puede definir como -- el tamaño de malla, en donde se retiene del 5 al 10% del -- total del material.

II.2.2 DENSIDAD, ABSORCIÓN Y HUMEDAD

II.2.2.1 DENSIDAD

La densidad de un material se define como la relación de su peso a su volumen.

$$\rho = \frac{P}{V}$$

La forma de obtener la densidad de los agregados significa efectuar una relación del peso del material entre el volúmen que ocupa, lo cual se efectúa a partir del desalojo de un líquido (agua) acotado en una probeta para obtener el volúmen desalojado y después dividir el peso del material entre ese volúmen.

La densidad absoluta se refiere al volúmen de material sólido que excluye todos los poros y oquedades y se define como la relación del peso del cuerpo sólido, referido al vacío, al peso del agua destilada libre de gas atrapado, tomados a una temperatura constante, norma ASTM-C-127 y C-128 (5) y (6).

II.2.2.2 ABSORCION

En el caso de los agregados para concreto la absorción se define como la capacidad de tomar agua entre las cavidades o formaciones moleculares de su interior hasta un limite en que no puede tomar más y a su vez, no puede dar nada de agua. Se establece así el principio de saturado y superficialmente seco (S.S.S.) (19) que es la condición de saturación máxima sin ceder agua a otro material con que se mezcle, norma ASTM C-127 y 128 (5) y (6).

II.2.2.3 HUMEDAD

La humedad, es la cantidad de agua que tiene un material en comparación con un estado aparentemente seco, norma ASTM C-566 (6).

En la figura No. 1 se puede apreciar en forma esquemática los dos conceptos anteriores.

Los agregados tienen una gran cantidad de humedad cuando están expuestos a cambios atmosféricos. A la intemperie y en un medio lluvioso pueden llegar a retener hasta un 20% -- más de su peso, ya que la evaporación se produce solo en la parte superficial de los agregados cuando están en una zona ventilada.

II.2.3 PESO VOLUMETRICO

El peso volumétrico es la cantidad de material que puede contener un volumen dado.

Haciendo referencia a los agregados, resulta que los materiales finos obtienen pesos volumétricos mayores debido al mejor acomodo de las partículas en un volumen establecido.

El peso volumétrico suelto, es el peso del material depositado suavemente en un recipiente con volumen conocido.

En el caso del peso volumétrico compactado, es el peso del material compactado con varilla de 16 mm. de diámetro en un volumen conocido.

El peso neto del agregado entre el volumen que ocupa, es el peso volumétrico, suelto o compactado. Norma ASTM C-29(8).

II.3 LODO BENTONITICO

La A.P.I. (9) define a la bentonita como una roca natural compuesta principalmente de arcilla Montmorilonítica la cual al mezclarse con agua, forma un lodo estabilizador.

Las condiciones estandarizadas para la elaboración de bentonita estan especificadas en esta misma referencia. Dichas condiciones requieren fabricar un lodo para analizar sus propiedades.

El lodo en estudio esta formado de bentonita sódica - la cual al diluirse en agua presenta propiedades físicas tales como resistencia al corte cuando esta en reposo, y Tixotropicas cuando el paso de gel a solución es reversible, en el momento del bombeo o agitación.

las condiciones que debe cumplir el lodo bentonítico- se determinan de acuerdo a la siguiente tabla del A.P.I.- 13 A (10).

REQUISITOS FISICOS Y QUIMICOS DE LA BENTONITA

Viscosidad Plástica a 600 rpm.	30 cps mínimo
Limite de fluencia	3 x V.P máximo
Filtrado	13.5 M.L. máximo
Retenido malla # 200	2.5% máximo
Humedad	10% máximo
P.H.	9.5 máximo

De la tabla anterior se concluye que la fabricación - del lodo bentonítico, requiere de un cuidadoso análisis - de las condiciones de viscosidad requeridas. En general - se puede decir que esta aumenta con la dosificación de --

bentonita y con el tipo de agua utilizada.

La densidad del lodo bentonítico debe ser mayor que el agua, con objeto de que el empuje hidrostático ejercido sobre las paredes de la excavación sea mayor que el del suelo.

Utilizado como lodo bentonítico en excavaciones para el sistema de transporte colectivo, la empresa de Ingeniería de Transporte Metropolitano (11) (ISTME), indica los límites especificados a continuación.

CONCEPTO	LIMITES
Viscosidad plastica (cps)	5-10
Límite de fluencia (L/100 ft ²)	10-15
Viscosidad Marsh (filtrado) (seg/cm ³)	25 máximo
Densidad	1.03-1.07
P.H.	7-10

En este trabajo se utilizó la dosificación de campo 12:1 y 15:1 (partes de agua por bentonita en peso). Sin embargo la dosificación recomendable es la que en campo cumpla con los límites establecidos anteriormente.

El lodo se prepara en campo con un mezclador de chiflón en un recipiente cónico, para después bombearlo a tanques de almacenamiento y dejarlo en reposo cuando menos 12 horas transcurrido este tiempo, se traslada a la excavación por medio de bombeo nuevamente.

Cabe destacar que la viscosidad, densidad y p.h. cambian en obra con el tipo y calidad de agua empleada para la

fabricación del lodo, la única especificación en cuanto a -
calidad, es la no utilización de aguas negras o con exceso-
de materia orgánica en solución.

TABLA II.2

ASTM C- 33 (4)

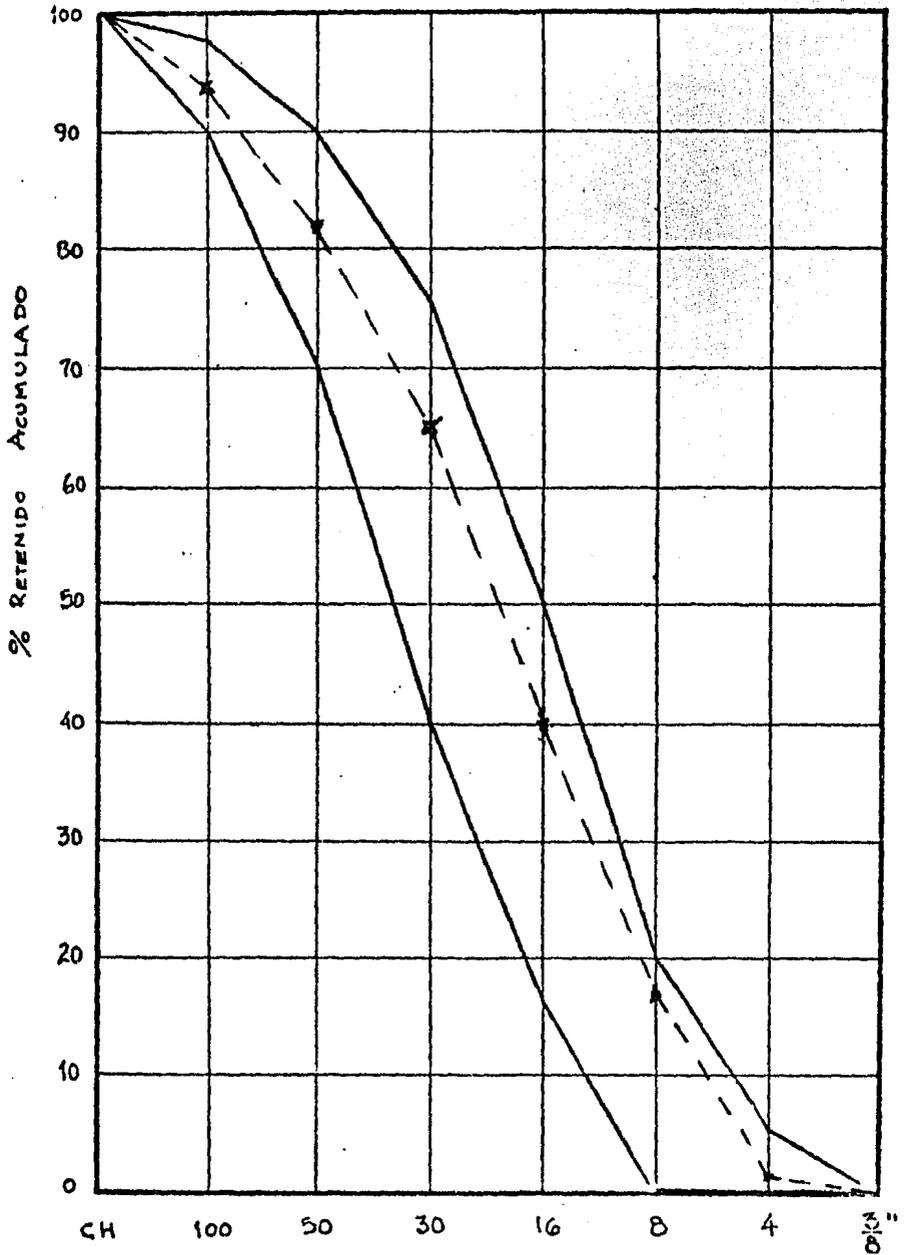
MALLA		PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA
3/8	(9.5 mm.)	100 %
No. 4	(4.76 mm.)	95 - 100 %
No. 8	(2.38 mm.)	80 - 100 %
No. 16	(1.19 mm.)	50 - 85 %
No. 30	(595 M)	25 - 60 %
No. 50	(297 M)	10 - 30 %
No. 100	(149 M)	2 - 10 %

TABLA II.3

ASTM C - 33 (4)

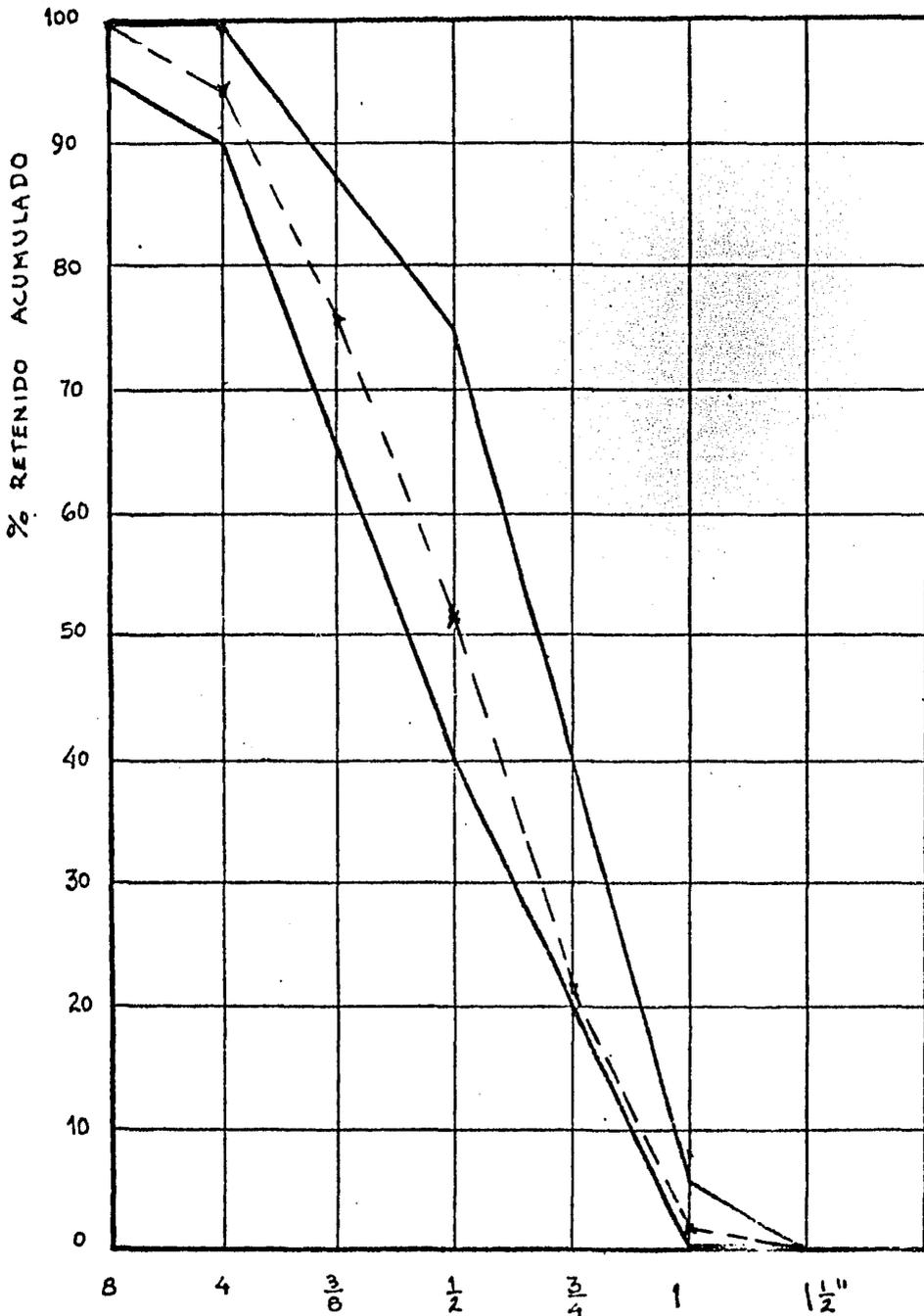
TAMAÑO MAXIMO	PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA							
	1	1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8
1"	100		95 100		25 60		0 10	0 5 ^a

LIMITES PARA ARENA



GRAFICA. II.1

LIMITES PARA GRAVA 1"



GRAFICA II.2

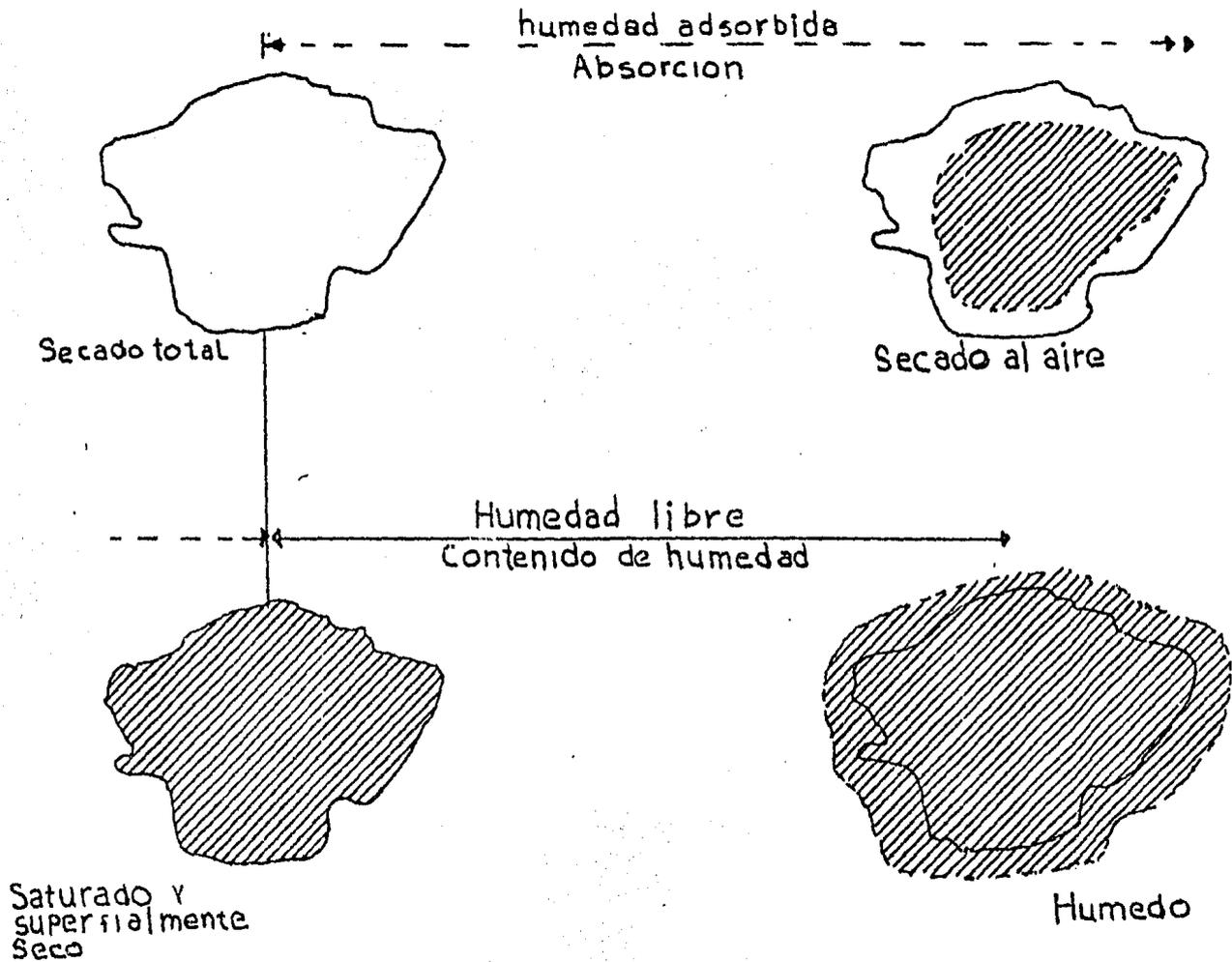


FIGURA No. 1

III. OBTENCION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES EN EL LABORATORIO

III.1 MUESTREO

Para efectuar esta etapa se requiere tomar muestras del material en tres o cuatro lugares distintos para garantizar su uniformidad.

El paso siguiente al muestreo, es el cuarteo, que es una operación de cuatro tiempos, que definimos a continuación:

- 1° Colocar en forma de cono la muestra analizada.
- 2° Usando una pala, dividir la muestra en cuatro partes (de aquí el nombre de la prueba).
- 3° Desechar al azar las dos cuartas partes opuestas en diagonal.
- 4° Mezclar las dos cuartas partes restantes en forma de cono y volver a efectuar el procedimiento hasta obtener el tamaño mínimo de material de la muestra representativa.

Después de efectuado el muestreo, otra forma de reducir la muestra representativa, es mediante el empleo de un cuarteador, que consiste en una caja con divisiones -- verticales paralelas con descargas alternadas a ambos lados, el B.S. describe un separador tipo, Norma 812-67 (12).

III.2 GRANULOMETRIA

Hasta este punto se ha empleado el término agregados como un todo, pero existe una clasificación dentro de es-

te grupo, que esta delimitado por un tamaño de partículas. La clasificación queda dividida por un tamaño mayor a 4.75 mm. llamada grava, y por un tamaño menor a 4.75 mm. denominado arena: quedando definido por ASTM E11 (3).

La granulometría en laboratorio, es el metodo por el cual podemos determinar la graduación de las partículas en una muestra de agregados, y mediante la cual, podemos rectificar su forma para cumplir con los requisitos especificados.

III.2.1 METODO DE OBTENCION DE GRANULOMETRIA DE GRAVAS.

- 1° Obtener muestra por cuarteo de 5 Kg. mínimo para un tamaño máximo de grava.
- 2° Secado total por 24 ± 4 horas en horno a 110°C .
- 3° Se enfria el material y se coloca en una cribadora - con mallas de 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", - # 4 y charola, por 10 minutos.
- 4° Se obtienen los pesos retenidos por malla; si se retiene entre un 5 y 10% en alguna de las primeras mallas, sera el numero de esta la que defina el tamaño máximo del agregado. En la tabla III.1 se puede observar con mas facilidad lo escrito anteriormente.

III.2.2 METODO DE OBTENCION DE GRANULOMETRIA PARA ARENAS.

- 1° Obtención de muestra mínima de 500 gr. por método de cuarteo.

- 2° Secado total por 24 ± 4 horas en horno a 110°C .
- 3° Se enfria el material y se coloca en cribadora mecánica por 10 minutos, con mallas # 4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola.
- 4° Se obtienen los pesos por cada malla y se acumulan - en porcentaje. La suma de estos porcentajes menos la charola forman el módulo de finura; se anotan los valores en forma de tabla y se comparan entre los limites permitidos en la gráfica de ASTM (Ver tabla III .2 para detallar la forma de como se escriben los resultados).

III.3 DENSIDAD, ABSORCION Y HUMEDAD

Esta serie de propiedades físicas de los agregados, - proporciona los valores que se requieren para un diseño - de mezclas.

Cada uno de estos parámetros proporciona las caracte rísticas físicas de cada material en cuanto a su relación de peso y volúmen, agua retenida y agua libre; obteniendo asi los índices particulares de los materiales por utili zar.

III.3. DENSIDAD Y ABSORCION DE GRAVAS

Para la grava se requiere que el laboratorio mantenga una temperatura ambiente de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ (ASTM C-127) y se rige por la siguiente forma de ensaye:

- 1° El peso de la muestra tipo debera ser de 5 Kg. mín.

- 2° Lavamos bien el material y lo colocamos en un horno a 110°C. por 24 horas.
- 3° Dejamos enfriar el material y lo sumergimos en agua - con tirante mínimo de 2.5 cm. por 24 horas.
- 4° Se escurre la grava y se seca hasta que adquiere su estado saturado y superficialmente seco (S.S.S.).
- 5° Para la densidad se pesa el material al aire y luego sumergido, quedando:

Volúmen desalojado = peso al aire - peso sumergido

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso al aire}}{\text{Volúmen desalojado}}$$

- 6° Para la absorción se pesa una cantidad de S.S.S. y se mete al horno por 24 horas, el resultado se anota en porcentaje.

$$\text{Absorción} = \frac{\text{Peso S.S.S.} - \text{Peso seco}}{\text{Peso S.S.S.}} \times 100$$

En la tabla III.3 se puede ver la forma de como se -- deben detallar los resultados.

III.3.2 DENSIDAD Y ABSORCION EN ARENAS

Para el caso de la arena (ASTM C-128) se requiere una muestra de 1000 gr. y la forma de ensaye es la siguiente:-

- 1° Pesar la probeta vacía.
- 2° Secar la muestra en el horno a 110°C por 24 horas.
- 3° Enfriar el material y sumergirlo en agua con tirante-mínimo de 2.5 cm. por 24 horas.
A = Probeta + agua + 500 gr.
- 4° Quitar el agua con bombilla para evitar la pérdida de finos y secar con ventilador hasta alcanzar su S.S.S. determinado con cono y pisón.
- 5° Pesar 500 gr. e introducirlo en el picnómetro y añadir agua hasta la marca de calibración y verificar -- que no tenga aire, si lo tiene, agitarlo para sacarlo.
- 6° Pesar picnómetro + muestra + agua----- (B)

$$A - B = \text{Volúmen desalojado.}$$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volúmen desalojado}}$$

Para absorción

- 1° Pesar 500 gr. de material en su estado S.S.S.
- 2° Introducirlo al horno por 24 horas a 110°C.
- 3° Dejarlo enfriar y pesarlo

$$\text{Absorción} = \frac{\text{Peso S.S.S.} - \text{Peso seco}}{\text{Peso S.S.S.}}$$

En la tabla III.4 se aprecian mejor estos conceptos.

III.3.3 HUMEDAD

La prueba de humedad es mas sencilla que las pruebas para densidad y absorción.

Sin embargo, para el diseño de mezclas es uno de los tópicos más importantes, pues de este concepto se deriva que la resistencia de proyecto no sea alterada por la --- cantidad de agua al efectuar el proporcionamiento del --- concreto.

Procedimiento de laboratorio ASTM C-566 (7).

- 1° Obtener una muestra en forma aleatoria y representativa de 2000 grs..
- 2° Uniformizar el material.
- 3° Ventilar el material hasta alcanzar la condición de S.S.S..
- 4° Pesar el material.

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso del Material}}{\text{Peso de la Muestra}} \times 100$$

III.4 PESO VOLUMETRICO

Para determinar el peso volumétrico de la grava o de la arena se requiere de recipientes cilindricos con peso y volúmen conocidos.

III.4.1 PESO VOLUMETRICO PARA GRAVAS ASTM C-29 (8)

- 1° En el recipiente seleccionado, se coloca el material hasta llenarlo en tres capas, cada una de las cuales se compacta con una varilla de compactación con un número de golpes igual a 25.
- 2° Se pesa el material y el recipiente.

Peso de la muestra = peso del material - peso del recipiente

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volúmen del recipiente}}$$

III.4.2 PESO VOLUMETRICO PARA ARENA ASTM C-29 (8)

- 1° Conocer las características del molde.
- 2° Colocar el material en el molde en tres etapas y --- compactarlo con una varilla a la cuenta de 25 golpes.
- 3° Pesar el molde y la muestra y obtener la diferencia.

Peso de la muestra = peso del material - peso del molde

$$\text{Peso volumétrico} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volúmen del molde}}$$

Para mejor apreciación ver tabla III.5

III.5 BENTONITA

La especificación de API (10) indica que para que -- una bentonita cumpla con las propiedades de un lodo se -- necesita que el proceso se efectúe en un cuarto con tem--

peratura de $24 \pm 3^{\circ}\text{C.}$, que el peso de la bentonita se haga en una balanza con sensibilidad de 0.01 gr. y en un aparato batidor marca Mixer con velocidad de $11,000 \pm 300$ rpm. y contar además con un viscosímetro con indicador de lectura directo con variación de velocidad de 600 rpm. y 300-rpm.

PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO

- 1.- Hidratar cinco porciones de bentonita de 22.5 grs.cada una en recipientes de acero inoxidable que contengan cada uno 350 cm^3 de agua destilada.
- 2.- Mezclarlos en un batidor marca Mixer, el cual cuenta con cinco batidores de aspas, una para cada vaso de acero inoxidable, por 20 minutos, a una velocidad de giro especificada por el fabricante.
- 3.- Se coloca el lodo en un recipiente esterilizado con tapa hermética y se deja en reposo por 16 horas como mínimo.
- 4.- Mezclar el lodo en el batidor Mixer por 5 minutos.
- 5.- Utilizando el viscosímetro, colocar en el vaso del mismo hasta la marca ranurada, efectuar las lecturas con velocidades de 600 rpm. y 300 rpm.
- 6.- Utilizando un cono Marsh medir el volumen de salida del lodo desde la marca hasta trascurra 1 minuto.
- 7.- Utilizando la malla # 200 efectuar un lavado del material y pesar lo retenido.

8.- Empleando un medidor de potencial de Hidrógeno (P.H.)-
tomar la lectura.

A continuacion se presenta en forma tabular los datos
obtenidos del lodo bentonítico utilizado para la investi--
gacion de inclusión con el concreto.

CONCEPTO	LIMITES	RESULTADOS
Viscosidad Plástica	5-25	12
Limite de fluencia	10-35	14
Viscosidad Marsh	35-55	51
Densidad	1.03-1.07	1.05
P.H.	7-10	9

TABLA III.1 ANALISIS GRANULOMETRICO DE GRAVAS

Peso Muestra 21050 g.

Peso Arena 867 gr.

Diferencia 20183 gr.

% Arena 5%

MALLA	PESO MUESTRA	PORCIENTOS	% ENTEROS	% ACUM	LIMITE ACUM.		OBSERVACIONES
					MIN.	MAX.	
1"	490	2.3	2	2	0	5	
3/4	4250	20.2	20	22	20	40	
1/2	6027	28.6	29	51	40	75	
3/8	5540	26.1	26	77	75	87*	
No. 4	3876	18.2	18	95	90	100	
CHAROCA	867	4.6	5	100	95	100	
SUMAS	21050	100.0	100.0	2.47			

TABLA III.2

ANALISIS GRANULOMETRICO DE ARENAS

Peso Muestra 1150Peso Grava 25Diferencia 1125% Grava 2%

MALLA	PESO MUESTRA	PORCIENTOS	% ENTEROS	% ACUMULADO	LIMITE ACUM.		OBSERVACIONES
					MIN.	MAX.	
No. 4	25	2.1	2	2	0	5	
No. 8	185	16.5	16	18	0	20	
No. 16	250	21.6	22	40	15	20	
No. 30	297	25.7	26	66	40	75	
No. 50	180	15.6	16	82	70	90	
No. 100	143	12.4	12	94	90	97	
CHAROLA	70	6.1	6	100	100	100	
SUMAS	1150	100	100	302			
MÓDULO DE FINURA				3.02			

TABLA III.3 PROPIEDADES FISICAS DE LA GRAVA

DENSIDAD

PESO MUESTRA	PESO SUMERGIDO	VOL. DESALOJADO	DENSIDAD x 100
1008 grs.	591.5 gr.	416.5 cm ³	2.42 gr/cm ³

ABSORCION

PESO S.S.S.	PESO SECO	DIFERENCIA	ABSORCION x 100
2000	19.37	63	3.15 %

TABLA III.4 PROPIEDADES FISICAS DE LA ARENA

DENSIDAD

A	B	A-B	DENSIDAD
PROBETA + AGUA + 500 gr.	PICNOMETRO+ MUESTRA+AGUA		
1360	1156	204.0	245 g/cm ³

ABSORCION

PESO S.S.S.	PESO SECO	DIFERENCIA	ABSORCION X 100
500	478	22	4.4 %

TABLA III. 5

PESO VOLUMETRICO PARA GRAVA Y ARENA

GRAVA

PESO MUESTRA*	VOLUMEN DEL RECIPIENTE	PESO VOLUMETRICO
42.90 Kg	29.825 Lts.	1.43 kg/lt.

ARENA

PESO MUESTRA*	VOLUMEN DEL RECIPIENTE	PESO VOLUMETRICO
13.655 Kg.	9.817 lts.	1.39 Kg/lt.

* El Peso de la muestra varía si es compactado o suelto, para el caso del Diseño de Mezclas se utiliza el peso del material compactado.

IV DESCRIPCION DEL TIPO DE MEZCLAS EMPLEADAS

IV.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo.

Un concreto adecuado, es el que cumple las condiciones de resistencia y durabilidad para las que fue diseñado.

Un diseño para concreto requiere de una dosificación óptima, logrando proporciones de mezclas que cumplan con una trabajabilidad apropiada, resistencia de diseño y durabilidad máxima.

IV.2 METODO DEL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI)

El ACI en su norma 211 (13) plantea dos formas para el diseño de mezclas de concreto normal: la primera de ellas - se basa en los pesos de cada uno de los elementos que componen el concreto y en la segunda forma se obtiene el concreto a partir de los volúmenes de materiales.

Para la estimación de las proporciones de la mezcla se requiere conocer previamente algunos requisitos de diseño, - y algunas propiedades físicas de los agregados:

Requisitos de diseño	a) Resistencia de diseño
	b) Tamaño máximo de agregado
	c) Contenido de aire
	d) Revenimiento
Propiedades físicas de los agregados	1. Granulometrías
	2. Densidad, absorción y humedad
	3. P. V. suelto y compactado

A partir de lo anterior se aplica el método:

Paso 1.- ELECCION DEL REVENIMIENTO

Este dato normalmente esta especificado en el proyecto pero para el caso en que no se tenga se puede tomar las recomendaciones del ACI que aparecen en la tabla IV.1 en donde los valores se derivan para el caso de utilizacion de vibrado para compactación de concreto.

TABLA IV.1 REVENIMIENTO RECOMENDABLE PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCION*

TIPO DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO	
	MAXIMO	MINIMO
Muros y zapatas de concreto reforzado	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de cimentación	8	2
Vigas y muros de concreto reforzado	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas de concreto masivo	8	2

* Se puede aumentar dos centímetros cuando se utilizen métodos de compactación sin vibrado.

Paso 2.- ELECCION DEL TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO

Se obtiene el análisis granulométrico en funcion del tipo de estructura por colarse, pues no debe exeder de una quinta parte de la menor dimención entre caras de cimbra - de una tercera parte del peralte de las losas, ni de las tres cuartas partes del espacio mínimo libre entre varillas.

Paso 3.- ESTIMACION DEL AGUA DE MEZCLADO Y EL CONTENIDO DE AIRE

La cantidad de agua requerida esta en función del revenimiento necesario, del tamaño máximo del agregado; inicialmente la cantidad de cemento no se ve afectada. La tabla IV.2 proporciona las estimaciones de agua requerida en función del revenimiento y el tamaño máximo del agregado.

TABLA IV.2 REQUERIMIENTO DE AGUA EN FUNCION DEL REVENIMIENTO Y DEL TAMAÑO MAXIMO ANOTANDO EL CONTENIDO DE AIRE MINIMO ATRAPADO.

		Agua en Kg/m ³ de concreto para diferentes tamaños de agregados en mm.						
REVENIMIENTO cm.		10	12.5	20	25	40	50	70
3 a 5		205	200	185	180	160	155	145
8 a 10		225	215	200	195	175	170	160
15 a 18		240	230	210	205	185	180	170
Aire atrapado (%)		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO								
3 a 5		180	175	165	165	145	140	135
8 a 10		200	190	180	175	160	155	135
15 a 18		215	205	190	185	170	165	160
Aire atrapado (%)		8	7	6	5	4.5	4	3.5
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO								

Paso 4.- DETERMINACION DE LA RELACION AGUA/CEMENTO

Este tipo de requerimiento esta en función de la resistencia, durabilidad y trabajabilidad.

La tabla IV.3 marca la correspondencia entre resistencia a los 28 días y la relación que existe de agua/cemento en peso. Esta basada en la curva de A/C en peso que aparece en la figura IV.1

TABLA IV.3 CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACION AGUA/CEMENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS.

RESISTENCIA	RELACION AGUA / CEMENTO	
	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	CONCRETO CON AIRE INCLUIDO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Paso 5.- CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

La cantidad de cemento se obtiene a partir de los valores de las tablas IV.2 y IV.3, al efectuar la división de la relacion agua/cemento con los valores del agua conocidos y el valor de la relación entre agua y cemento.

Paso 6.- ESTIMACION DEL CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO

En este punto se obtiene la cantidad de agregado grueso en función del tamaño máximo de agregado y del módulo de finura del agregado fino, como se muestra en la tabla - IV.4.

TABLA IV.4 VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO EN FUNCION DEL MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO.

TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO mm.	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
10	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49
20	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56
25	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61
40	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
50	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68
70	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71
150	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77

Paso 7.- ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO

Esta estimación se puede obtener de dos formas, 1ª- obteniendo los volúmenes de cemento, agua y agregado grueso, y restarlos de un metro cúbico, en donde la diferencia es el agregado fino, o conociendo el peso de un metro cúbico restar los pesos de los materiales ya determinados y la diferencia es el agregado fino.

La obtención de la cantidad de agregado fino por volumen absoluto, es mas preciso que la forma de obtención por peso; pero implica el conocimiento exacto de la cantidad de aire atrapado e incluido. La cantidad de aire incluido se puede determinar por el tipo de aditivo empleado, no asi el volumen de aire atrapado.

Una forma de obtener los volúmenes de aire en el concreto, sería efectuar una mezcla de prueba y medirlo físicamente con un medidor de aire para concreto.

Para el caso del peso de concreto por metro cúbico se puede considerar inicialmente la tabla IV.5, efectuar una mezcla de prueba y medir físicamente el peso por m^3 , revisar el diseño del concreto y volverlo a medir hasta obtener valores precisos.

TABLA IV.5 PRIMERA ESTIMACION DEL PESO DEL CONCRETO FRESCO (KG/M³)

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO	CONCRETO CON AIRE INCLUIDO
10	2285	2190
12.5	2315	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2455	2375
70	2465	2400
150	2505	2435

Como primera estimación para obtener el peso del concreto la tabla IV.5 es apropiada; aunque experimentalmente se ha obtenido un peso por m^3 promedio de 2200 Kg/m³, valor que puede utilizarse para el diseño en forma confiable.

Paso 8.- AJUSTE POR CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Por lo general los agregados tienen una humedad al momento de utilizarlos, lo que hace variar los pesos de los mismos. Para evitar esto, se supone el material seco y se aumenta el porcentaje de humedad en peso de agregados.

Para el caso del agua por añadir, se tiene que considerar que el diseño de la mezcla se efectúa a partir del S.S.S. y para la cantidad de agua por añadir, se resta la humedad del agua por mezclar, y se añade a la vez la cantidad de agua que absorben los materiales hasta el S.S.S..

IV.3 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO Y PROPORCIONES DE LODO BENTONITICO.

Una de las partes fundamentales del estudio propuesto de contaminación del concreto por inclusión de lodo bentonítico, es el diseño de las mezclas y las cantidades de lodo bentonítico utilizadas para analizar los efectos que se producen.

IV.3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En el período en que se realiza la investigación, la humedad de los agregados varía diariamente, produciendo en las mezclas de prueba valores poco constantes, debido a esto se optó por efectuar un secado total de los agregados y añadir solo el agua necesaria por absorción de los materiales para garantizar el estado S.S.S..

La cantidad de mezcla por elaborar depende del número de pruebas por efectuar; para esta investigación se consideraron:

9 cilindros de 15 x 30 cm., para pruebas de compresión a 3, 7 y 28 días, con volumen = 0.048 m^3 .

3 prismas de 15 x 15 x 60 cm. para pruebas de flexión a 28 días, con volumen = 0.04 m^3 .

1 molde para mortero (prueba fraguado) con volumen = 0.007 m^3 .

El volúmen necesario es de 0.094 m^3 a lo cual añadimos un 5% de desperdicio, quedando $0.099 \text{ m}^3 \approx 0.1 \text{ m}^3$, por lo tanto se requieren 220 kg. de mezcla.

La dosificación de lodo bentonítico para el análisis de los efectos por contaminación en el concreto varían en porcentajes tales como: 1%, 3% y 5%; debido a que se abarcan en forma uniforme, valores concretos de variación en las consistencias y revenimientos de las mezclas.

El análisis efectuado considera una densidad del lodo bentonítico de 1.06 kg/l de aquí que el valor en peso para el porcentaje de contaminación sera 1.06 por el peso de la mezcla y por el porcentaje de contaminación aplicado.

Para presentarlo en forma clara se expondrá en forma tabular como sigue:

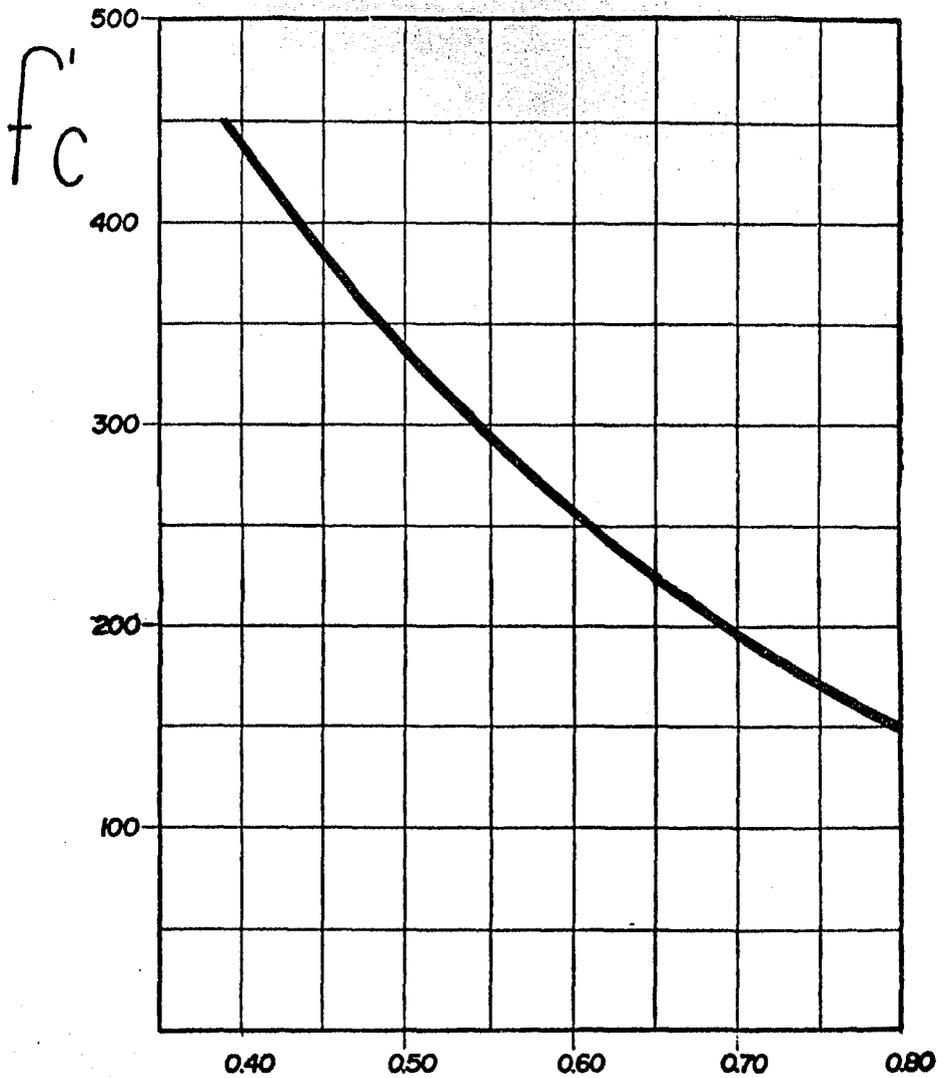
MEZCLA	Peso kg.	% de lodo	densidad de lodo	total de lodo añadido
150	220	0.01	1.06	2.33
	"	0.03	"	6.97
	"	0.05	"	11.66
250	"	0.01	"	2.33
	"	0.03	"	6.97
	"	0.05	"	11.66
350	"	0.01	"	2.33
	"	0.03	"	6.97
	"	0.05	"	11.66

Para consideraciones posteriores se nombrarán a cada una de las mezclas efectuadas con la siguiente nomenclatura:

150 kg/cm ²	150-N
150 kg/cm ² con 1, 3 ó 5% de contaminación con lodo bentonítico.	150-B-1% 150-B-3% 150-B-5%
250 kg/cm ²	250-N
250 kg/cm ² con 1, 3 ó 5% de contaminación con lodo bentonítico	250-B-1% 250-B-3% 250-B-5%
350 kg/cm ²	350-N
350 kg/cm ² con 1, 3, ó 5% de contaminación con lodo bentonítico	350-B-1% 350-B-3% 350-B-5%

IV.3.2 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO Y CANTIDADES DE LODO BENTONITICO

A continuación se presentan, en forma tabular, las - cantidades de materiales para cada mezcla de concreto elaborada.



GRAFICA IV.1 **RELACION** agua/cemento
(A/C) en peso

LABORATORIO DE MATERIALES
 FACULTAD DE INGENIERIA, U. N. A. M.
 DOSIFICACION DE UNA MEZCLA DE CONCRETO
 (A.C.I. 211.1-77)

1. IDENTIFICACION

Mezcla No. 150-N Obra: TESIS

2. CARACTERISTICAS DEL CONCRETO.

- a) Resistencia: $f'c = 150$ Kg/cm² d) Relación agua/cemento: A/C = 0.3
 b) Revenimiento: 10 cm. e) Contenido de aire: 1.5 %
 c) Tamaño máximo de agregado: T.M.A. = 25 mm.

3. DOSIFICACION DE LA MEZCLA POR METRO CUBICO

MATERIAL	IDENTIFICACION	DENSIDAD	Cantidades en Estado Seco		HUMEDAD	ABSORCION	Cant. corregidas en Estado humedo	
			Por peso (Kg/m ³)	Por Vol. (Kg/m ³)			Por peso (kg/m ³)	Por Vol. (Kg/m ³)
Agua	POTABLE	1.0	195	195			261	261
Cemento	TIPO I	3.15	243.8	243.8			243.8	243.8
Puzolana								
Grava	P.V.S.C.* <u>1.34</u>	2.42	871	871		3.15	871	871
Arena	M.F.* <u>3.0</u>	2.45	890.2	762		4.40	890	762
Aditivos								
SUMAS			2200	1000			2200	1000

* P.V.S.C.: Peso Volumétrico en Estado Seco y Compactado.

* M.F.: Módulo de Finura

4. MEZCLA DE PRUEBA

Volumen: 0.1 m³

MATERIAL	Cantidades en Estado humedo		Cant. corregidas en Estado Seco por m ³		Cant. corregidas en Estado humedo por m ³	
	Por peso (Kg/m ³)	Por volumen (Kg/m ³)	Por peso (Kg/m ³)	Por volumen (Kg/m ³)	Por peso (kg/m ³)	Por volumen (Kg/m ³)
Agua	19.5	19.5	26.1	26.1	28	28
Cemento	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4
Puzolana						
Grava	89.8	89.8	87.1	87.1	87.1	87.1
Arena	92.35	79.65	89.0	76.2	89.0	76.2
Aditivos						
SUMAS	220.0	0.1	220.0	0.1	221.9	0.1

5. RESULTADOS

	MEZCLA DE PRUEBA	MEZCLA AJUSTADA
Revenimiento	6.2	8.5
Peso Volumétrico	220.0	220.0
Rendimiento		
A/C	0.8	0.8
Cont. de aire	1.5	1.5
f'c	- -	174.5

LABORATORIO DE MATERIALES
FACULTAD DE INGENIERIA, U. N. A. M.
DOSIFICACION DE UNA MEZCLA DE CONCRETO
(A.C.I. 211.1-77)

1. IDENTIFICACION

Mezcla No. 250-N Obra: TESIS

2. CARACTERISTICAS DEL CONCRETO.

- a) Resistencia: $f'c = 250$ Kg/cm² d) Relación agua/cemento: $A/C = 0.62$
 b) Revenimiento: 10 cm. e) Contenido de aire: 1.5 %
 c) Tamaño máximo de agregado: T.M.A. = 25mm.

3. DOSIFICACION DE LA MEZCLA POR METRO CUBICO

MATERIAL	IDENTIFICACION	DENSIDAD	Cantidades en Estado Seco		HUMEDAD	ABSORCION	Cant. corregidas en Estado humedo	
			Por peso (Kg/m ³)	Por Vol. (Kg/m ³)			Por peso (kg/m ³)	Por Vol. (Kg/m ³)
Agua	POTABLE	1.0	195	195			258.5	258.5
Cemento	TIPO I	3.15	314.5	314.5			314.5	314.5
Puzolana								
Grava	P.V.S.C* 1.34	2.42	871	871		3.15	871	871
Arena	M.F.* 3.0	2.45	819.5	708		4.40	819.5	708
Aditivos								
SUMAS			2200	1.0			2200	1.0

- * P.V.S.C.: Peso Volumétrico en Estado Seco y Compactado.
 * M.F.: Módulo de Finura

4. MEZCLA DE PRUEBA

Volumen: 0.1 m³

MATERIAL	Cantidades en Estado Humedo		Cant. corregidas en Estado Seco por m ³		Cant. corregidas en Estado humedo por m ³	
	Por peso (Kg/m ³)	Por volumen (Kg/m ³)	Por peso (Kg/m ³)	Por volumen (Kg/m ³)	Por peso (kg/m ³)	Por volumen (Kg/m ³)
Agua	19.5	19.5	25.8	25.8	28.2	28.2
Cemento	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5
Puzolana						
Grava	89.8	89.8	87.1	87.1	87.1	87.1
Arena	85.6	74.5	81.9	70.8	81.9	70.8
Aditivos						
SUMAS	220	0.1	220	0.1	222.4	0.1

5. RESULTADOS

	MEZCLA DE PRUEBA	MEZCLA AJUSTADA
Revenimiento	4.6	9.7
Peso Volumétrico	220.0	220.0
Rendimiento		
A/C	0.62	0.62
Cont. de aire	1.5	1.5
f'c	---	255.0

LABORATORIO DE MATERIALES
 FACULTAD DE INGENIERIA, U. N. A. M.
 DOSIFICACION DE UNA MEZCLA DE CONCRETO
 (A.C.I. 211.1-77)

1. IDENTIFICACION

Mezcla No. 350-N Obra: TESIS

2. CARACTERISTICAS DEL CONCRETO.

- a) Resistencia: $f'c = 350$ Kg/cm² d) Relación agua/cemento: A/C = 0.48
 b) Revenimiento: 10 cm. e) Contenido de aire: 1.5 %
 c) Tamaño máximo de agregado: T.M.A. = 0.1

3. DOSIFICACION DE LA MEZCLA POR METRO CUBICO

MATERIAL	IDENTIFICACION	DENSIDAD	Cantidades en Estado Seco		HUMEDAD	ABSORCION	Cant. corregidas en Estado húmedo	
			Por peso (Kg/m ³)	Por Vol. (Kg/m ³)			Por peso (kg/m ³)	Por Vol. (kg/m ³)
Agua	POTABLE	1.0	195	195			254	254
Cemento	TIPO I	3.15	406.3	406.3			406.3	406.3
Puzolana								
Grava	P.V.S.C = 1.34	2.42	871	871		3.15	871	871
Arena	M.F. = 3.0	2.45	727.7	637		4.40	727.7	637
Aditivos								
SUMAS			2200	1.0			2200	1.0

* P.V.S.C.: Peso Volumétrico en Estado Seco y Compactado.
 * M.F.: Módulo de Finura

4. MEZCLA DE PRUEBA

Volúmen: 0.1 m³

MATERIAL	Cantidades en Estado Húmedo		Cant. corregidas en Estado Seco por m ³		Cant. corregidas en Estado húmedo por m ³	
	Por peso (Kg/m ³)	Por volúmen (Kg/m ³)	Por peso (Kg/m ³)	Por volúmen (Kg/m ³)	Por peso (kg/m ³)	Por volúmen (kg/m ³)
Agua	19.5	19.5	25.4	25.4	28.4	28.4
Cemento	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6
Puzolana						
Grava	89.8	89.8	87.1	87.1	87.1	87.1
Arena	76.0	66.9	72.8	63.7	72.8	63.7
Aditivos						
SUMAS	220	0.1	220	0.1	220	0.1

5. RESULTADOS

	MEZCLA DE PRUEBA	MEZCLA AJUSTADA
Revenimiento	5.7	8.9
Peso Volumétrico	220	220
Rendimiento		
A/C	0.48	0.48
Cont. de aire	1.5	1.5
f'c	---	354.9

V. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Las propiedades más usuales que se pueden obtener del concreto en estado fresco son: trabajabilidad y fraguado.

V.1 TRABAJABILIDAD

Se ha definido la trabajabilidad como las características de consistencia que permitan transportar, colocar y terminar el concreto con suficiente facilidad. La forma de medir la trabajabilidad es por medio de la prueba de revenimiento.

El instrumento para medir la trabajabilidad es un cono truncado de 12" de altura (30 cm.), 8" de diámetro inferior (20 cm.) y 4" de diámetro superior (10cm.) el cual debe llenarse en tres capas y compactarse cada una 25 veces con un pisón de acero de una pulgada² de área.

El procedimiento consiste en una vez lleno el cono, se enrasa, se limpia el desperdicio y se levanta lentamente (5 seg.). La magnitud del revenimiento se mide colocando el cono de cabeza a un lado de la mezcla que contenía dicho elemento, colocando la varilla sobre el cono y midiendo al centro del concreto, el abatimiento es la cantidad de revenimiento.

Si al deslizar el cono la mezcla no es uniforme, y se presenta un plano inclinado, se dice que tiene un revenimiento por corte, lo que indica que fue mal efectuado y debe repetirse. Si persiste la forma de corte se puede inferir que falta cohesión en la mezcla.

Las mezclas de consistencia rígida tienden a revenimientos bajos, en cambio las mezclas pobres facilitan los revenimientos por corte y aún a desplomes. Las mezclas -- bien diseñadas se comportan satisfactoriamente pues indican ser sensibles a la trabajabilidad.

A pesar de las limitaciones que presenta la prueba de revenimiento, es ampliamente usada en campo, para verificar las variaciones, por días y horas, que sufren los materiales que se emplean para las mezclas. Un aumento en el revenimiento podría indicar cambios en la humedad de los agregados o variación en las granulometrías.

Un revenimiento alto o bajo constituye un aviso inmediato y permite remediar la situación, de aquí que su aplicación motive su alto grado de utilización.

V.2 FRAGUADO

Se puede definir al fraguado como el cambio de un estado fluido a un estado mas rígido, en donde la resistencia se incrementa paulatinamente.

En la práctica se utilizan los términos de fraguado inicial y final; el fraguado inicial corresponde a un incremento en la temperatura correlacionandose con una resistencia a la penetración de 35 kg/cm^2 . El fraguado final corresponde a la máxima lectura de temperatura y a una resistencia a la penetración de 282 kg/cm^2 . (14).

El tiempo de fraguado se obtiene midiendo el lapso de tiempo que transcurre desde la hidratación del concreto -- hasta el momento de medición; dichas mediciones estan sujetas al criterio del ensayista, pero para obtener valores -

próximos para el trazado de una curva se aconseja que se efectúen cada media hora o menos, cuando se aprecie que las resistencias se acerquen a los valores de fraguado inicial y final. Para efectuar las mediciones existe un aparato de penetración que permite medir las presiones ejercidas sobre el concreto a travez de un manómetro indicador de carga; este aparato se conoce con el nombre de penetrómetro.

El penetrómetro consta de una palanca conectada por medio de resortes a una punta en donde se colocan agujas con diferentes areas, las cuales son de 1", 1/2", 1/4", 1/10", 1/20" y 1/40", las cuales se van insertando de acuerdo a un manómetro medidor de carga, el cual va de 0 a 200 lbs. La resistencia por obtener, es la lectura de carga dividida entre el área de la aguja utilizada.

Se dice que se ha llevado a efecto el fraguado inicial cuando se obtienen resistencias de 35 kg/cm^2 (500 lbs/in^2) Para el fraguado final se obtiene como valor estándar el de 282 kg/cm^2 , (4000 lb/in^2). (14).

Para efectuar la prueba de fraguado se requiere de un recipiente circular de 30 cm. de diámetro por 20 cm. de altura, en el que se cloca un mortero de concreto homogeneizado y tamizado por la malla # 4 e introducido previamente en un cuarto de curado con humedad y temperatura controladas.

Para obtener el tiempo de fraguado se tiene que medir la resistencia durante un período de tiempo determinado; a medida que se acercan a los tiempos de fraguado inicial y final, los intervalos de lectura se reducen.

VI. COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Se ha indicado que el objetivo principal del estudio del comportamiento de un concreto, es la obtención de las relaciones de resistencia del material, bajo la gama total de sollicitaciones a que puede quedar sujetas siendo las -- mas significativas los comportamientos en compresión y flexión. No obstante que el concreto tiene características nada despreciables como durabilidad e impermeabilidad, la -- resistencia ofrece un panorama general de su calidad.

En la práctica de la ingeniería se ha comprobado, que la resistencia del concreto a una determinada edad, con un curado a una temperatura estandar, depende de la relación-agua/cemento con la que se efectúa la mezcla.

La gráfica VI.1 muestra la resistencia a la compre---sión del concreto en función de la relación agua/cemento, obtenida en función de un tipo de cemento normal y agregados aceptables a los 28 días.

El efecto de la edad sobre la resistencia del concreto, gráfica VI.2, muestra que existe un aumento de la misma conforme pasa el tiempo. En el pasado, el aumento de -- resistencia despues de los 28 días se consideraba como un incremento en los factores de seguridad de la estructura; actualmente se considera teóricamente que no hay aumento - en la resistencia despues del límite de 28 días ya estan--darizado.

VI.1 PRUEBA DE COMPRESION

En la prueba de compresión del concreto las probetas son estandarizadas y son cilindros con una altura del doble del diametro. Con agregados de tamaño máximo no mayor a 2", (50 mm.), el tamaño normal del cilindro es de 6" X 12" (15 X 30) segun ASTM C-31 (15).

Normalmente los cilindros de prueba no tienen una superficie plana y perpendicular a la forma de carga para ensaye, por lo que se utiliza un material para cama de apoyo. Estos materiales pueden ser yeso, cementos de fraguado rápido y compuestos de sulfuro.

La acción de asegurar la perpendicularidad de los cilindros se llama cabeceo, y consiste en proporcionar una cama resistente por medio de placas perfectamente niveladas en donde se añade el material para la cama. Los materiales más usuales en el cabeceo son los compuestos de sulfuro, por su rápido endurecimiento, poseer una resistencia mayor al concreto de ensaye y cumplir con aplicación laminar tan delgada como se requiera, lo que está definido en ASTM C-39 (16) y ASTM C-192 (17).

La resistencia del concreto del cilindro se obtiene dividiendo la carga máxima aplicada entre el área del cilindro ensayado.

Para la aplicación de carga se utilizan prensas en donde la velocidad es controlable y se puede sostener la carga en un valor constante. Normalmente este tipo de máquinas poseen caratulas de lectura y graficadores dentro de su mismo mecanismo de operación.

La velocidad de ensaye afecta el valor de la resistencia a la compresión, los resultados de los ensayos indican que la relación entre resistencia y velocidad es logarítmica, mientras más velocidad se aplica, es mas alta la carga registrada y por lo tanto la resistencia.

VI.2 PRUEBA DE FLEXION

Para realizar la prueba de flexión en concreto se utilizan prismas rectangulares cuyas dimensiones estan especificadas en la norma ASTM C-192 (17).

La prueba se efectua sobre una viga simplemente apoyada con cargas en el centro del claro, o bien se puede llevar a cabo cargando la viga con dos fuerzas concentradas en el tercio del claro.

En las pruebas de flexión simple se obtiene el módulo de ruptura por ASTM C-78 (18):

$$MR = \frac{PL}{bd^2}$$

Quando la falla ocurre en el tercio medio del claro.

$$MR = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Quando la falla ocurre en no mas del 5% fuera del tercio medio del claro.

Siendo:

MR. = Módulo de ruptura

P = Carga máxima aplicada

L = Longitud del claro

b = Ancho del espécimen

d = Peralte del espécimen

a = Longitud de la falla al apoyo
mas cercano

La aplicación de la carga en los tercios de la probeta de ensaye, arroja resultados menores entre un 10 y 25% pero en general, parece arrojar resultados mas reales y -- concordantes.

VII. RESULTADOS

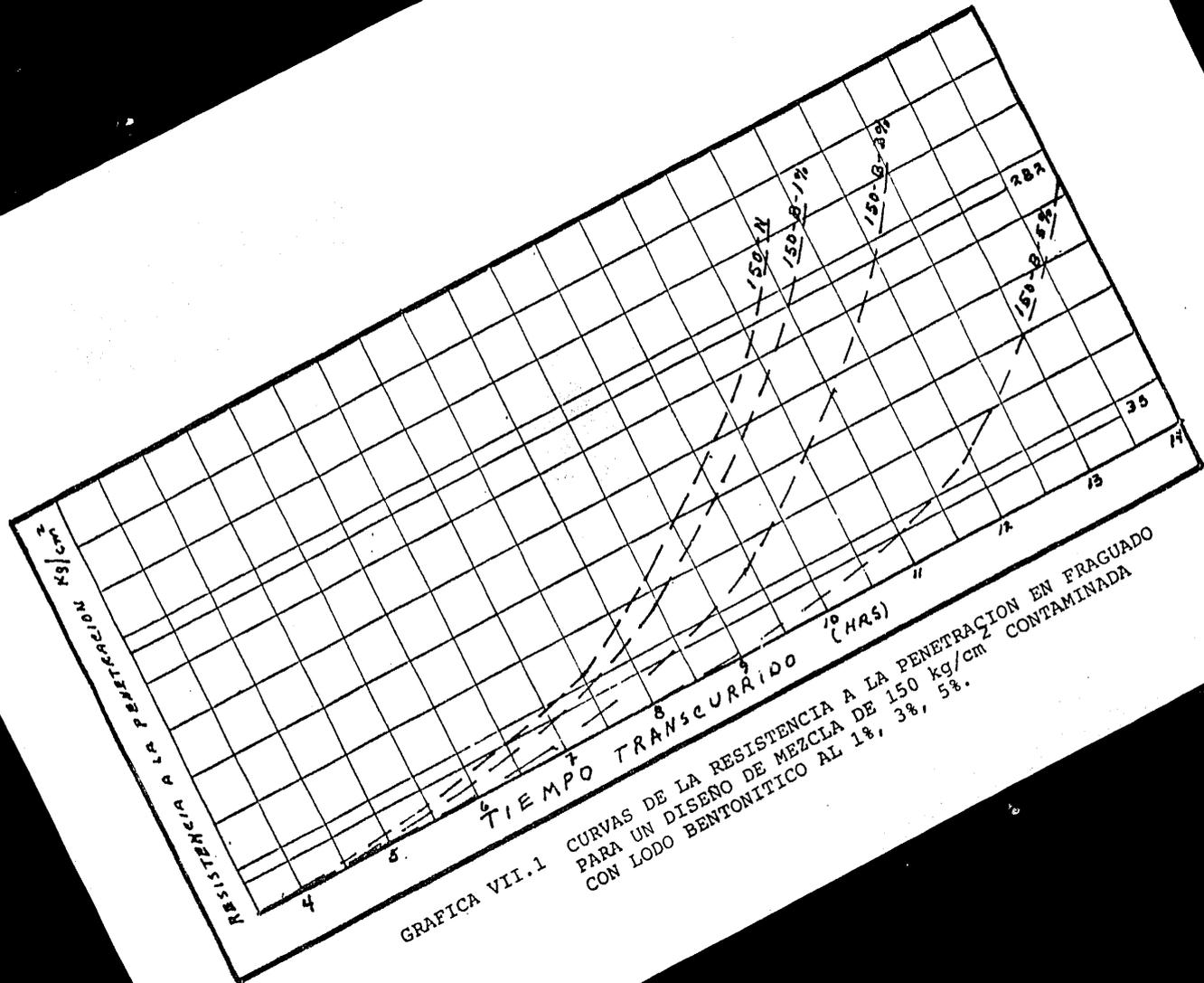
En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación; se analizan primero los valores obtenidos en el fraguado, después las pruebas de compresión y por ultimo las de flexión.

VII.1 FRAGUADOS

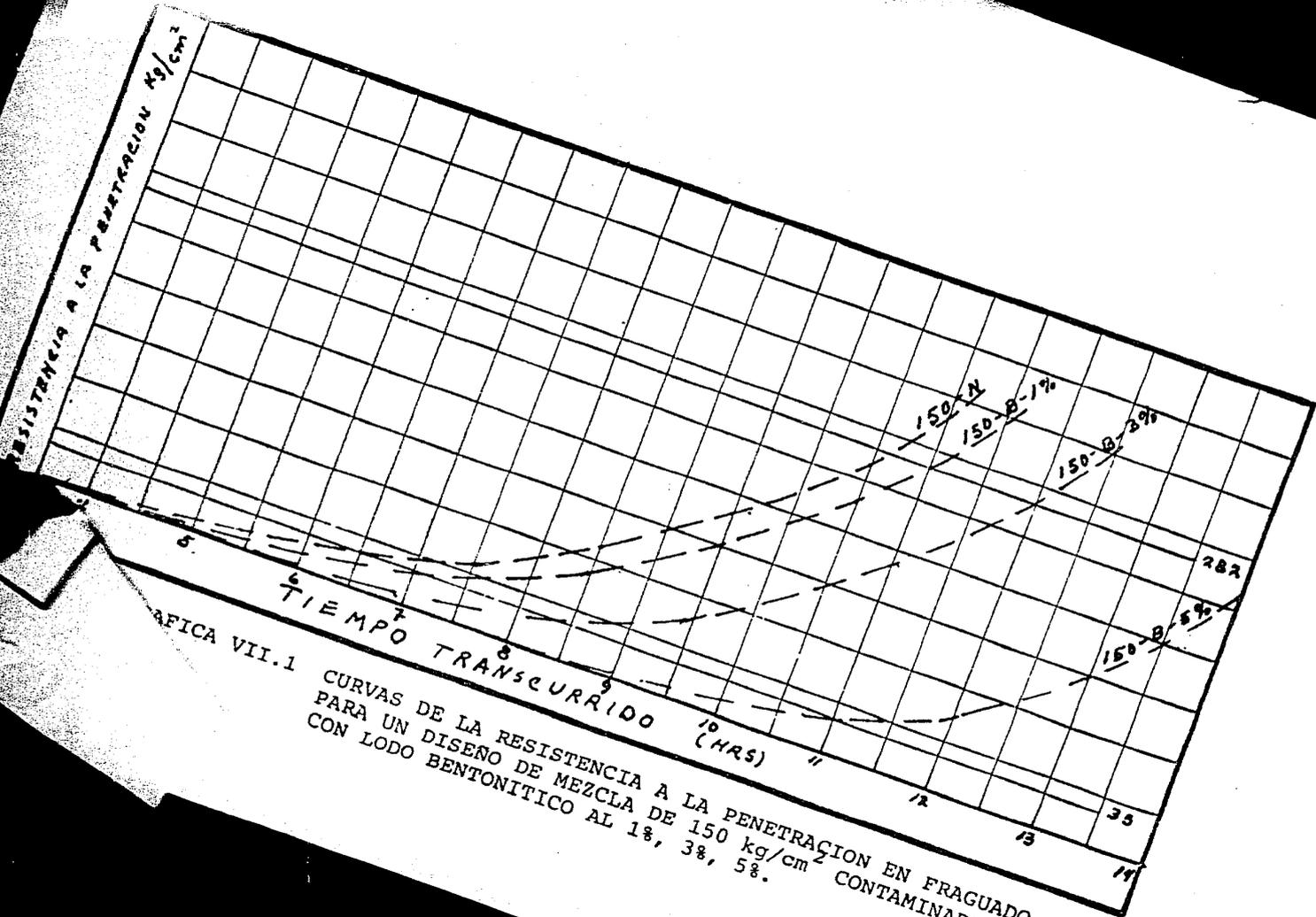
En las gráficas VII.1 a VII.3, se muestran los resultados, en función de la resistencia a la penetración, el tiempo transcurrido y el porcentaje de contaminación.

Tambien se indica en las graficas con una linea horizontal, las resistencias de 35kg/cm^2 y 282 kg/cm^2 , que corresponden a los valores de fraguado inicial y fraguado final respectivamente (segun ASTM C-403) (14).-

En las figuras de la VII.4 a VII.7 se muestran las curvas de resistencia a la penetración en función del porcentaje de contaminación.

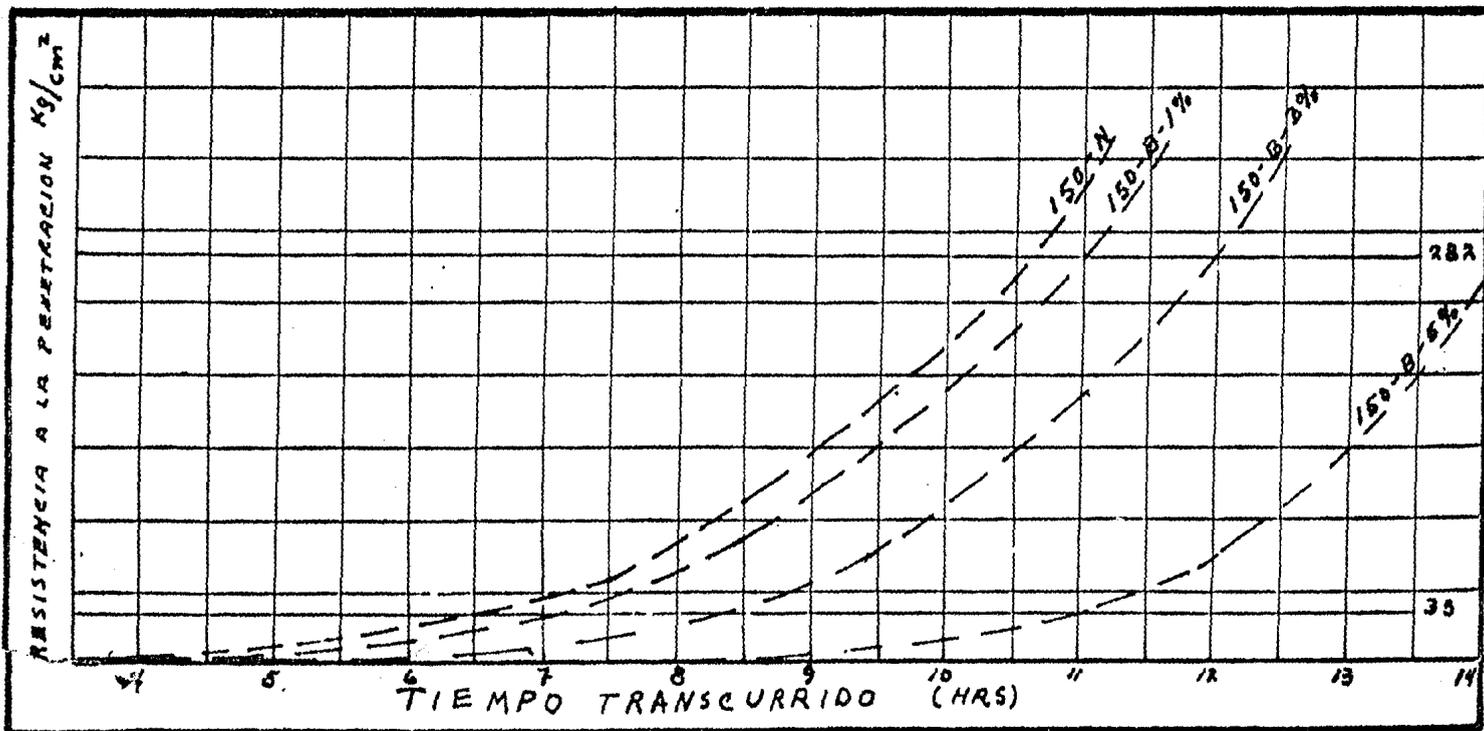


GRAFICA VII.1 CURVAS DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION EN FRAGUADO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA DE 150 kg/cm² CON LODO BENTONITICO AL 18, 38, 58.

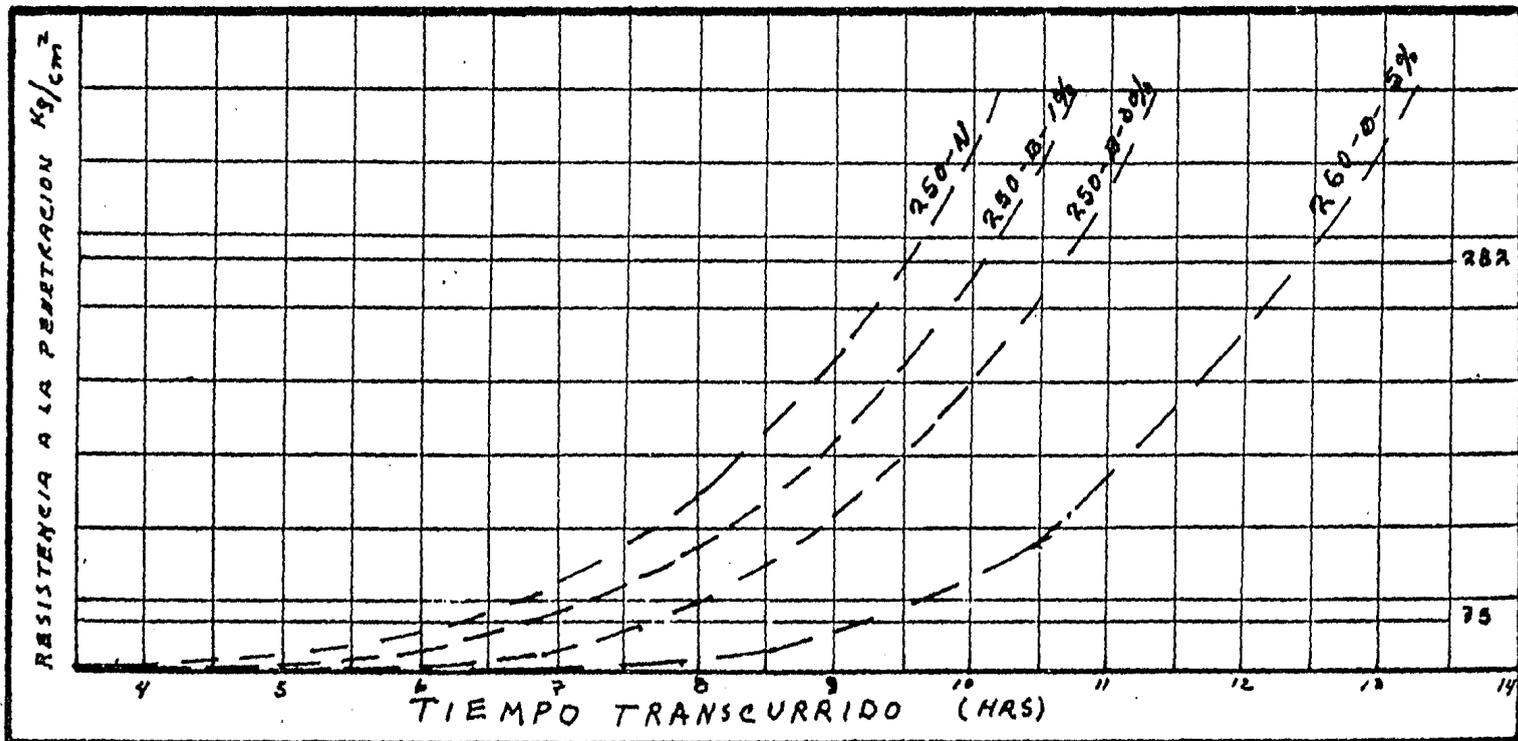


GRAFICA VII.1

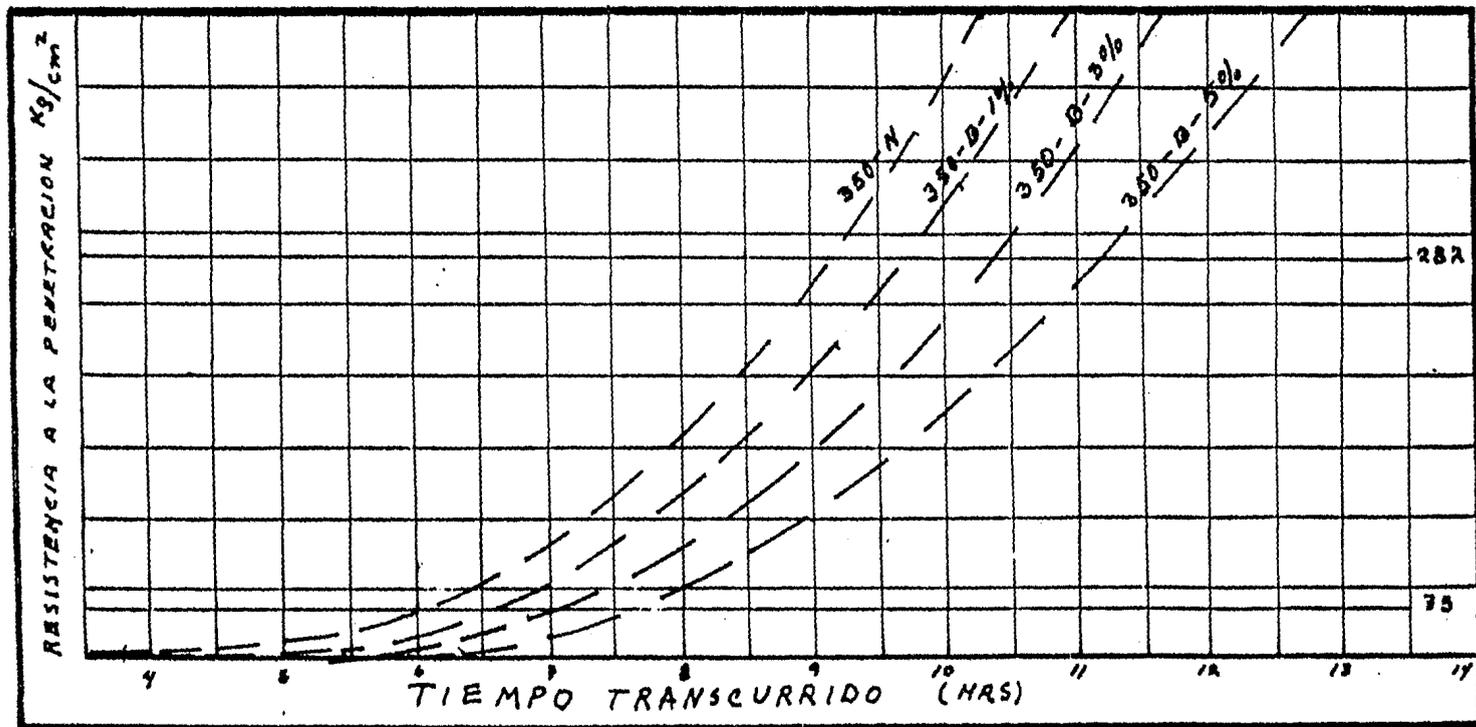
CURVAS DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION EN FRAGUADO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA DE 150 kg/cm² CON LODO BENTONITICO AL 1%, 3%, 5%.



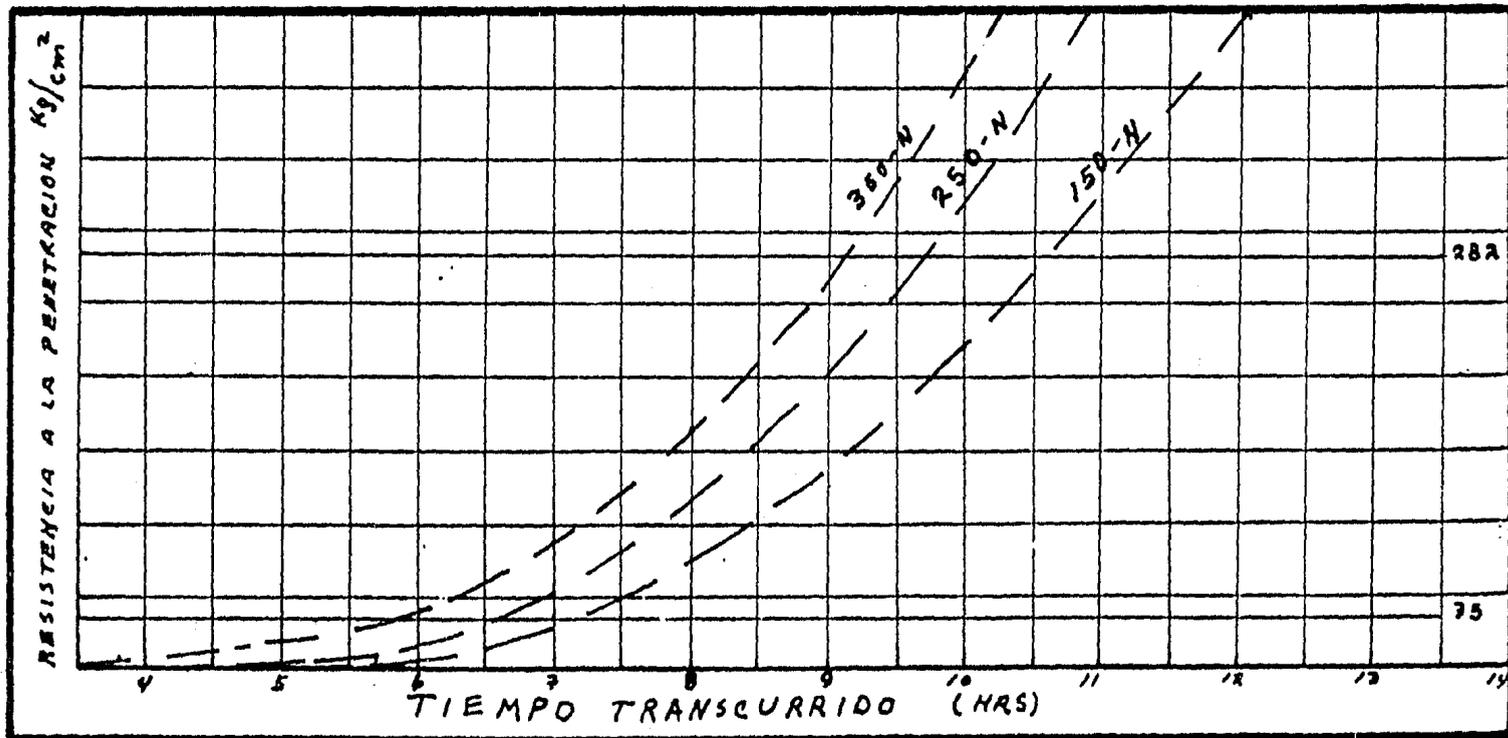
GRAFICA VII.1 CURVAS DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION EN FRAGUADO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA DE 150 kg/cm² CONTAMINADA CON LODO BENTONITICO AL 1%, 3%, 5%.



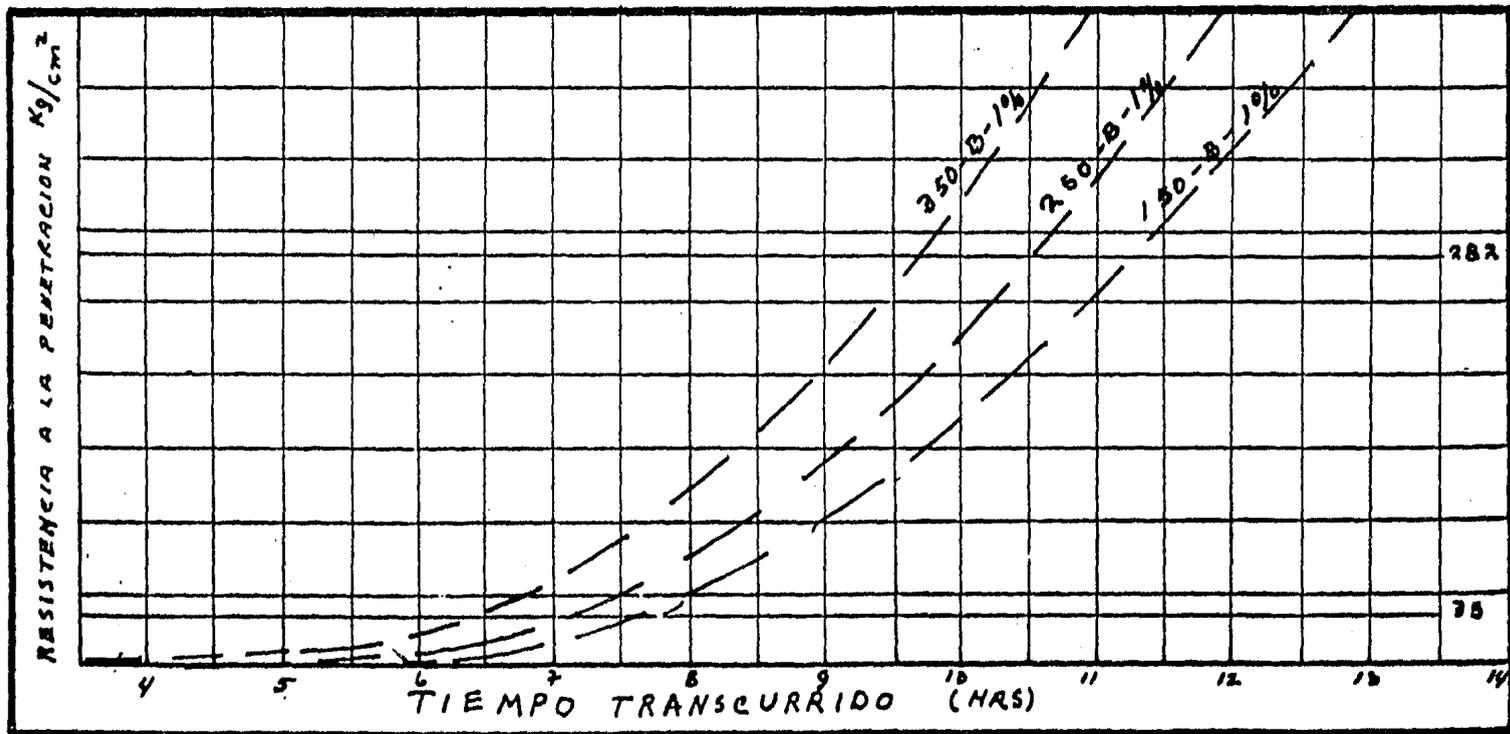
GRAFICA VII.2 CURVAS DE RESISTENCIA A LA PENETRACION EN FRAGUADO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA DE 250 kg/cm² CONTAMINADA CON LODO BENTONITICO AL 1%, 3%, 5%.



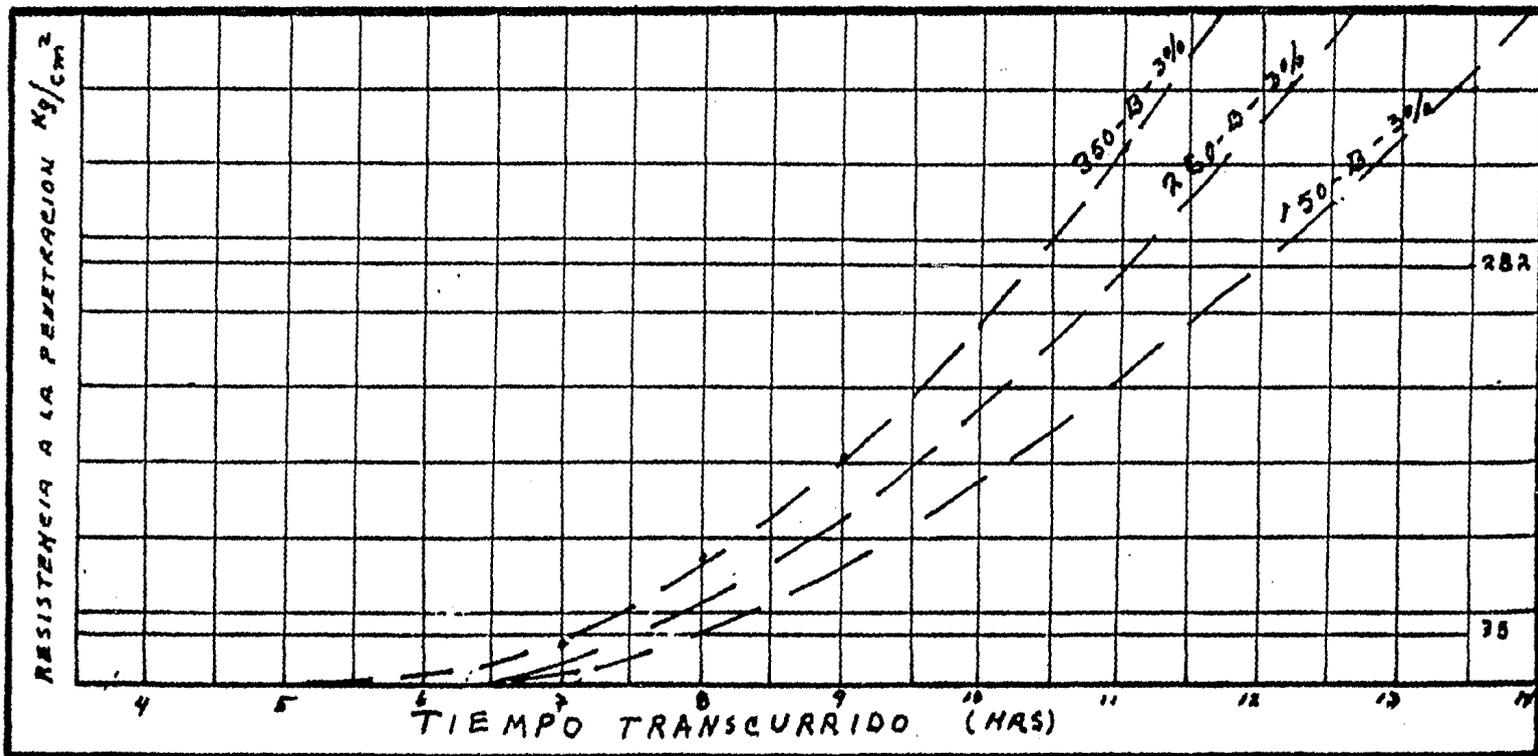
GRAFICA VII.3 CURVAS DE RESISTENCIA A LA PENETRACION DE FRAGUADO PARA UN DISEÑO DE MEZCLA DE 350 kg/cm^2 CONTAMINADA CON LODO BENTONITICO AL 1%, 3%, 5%.



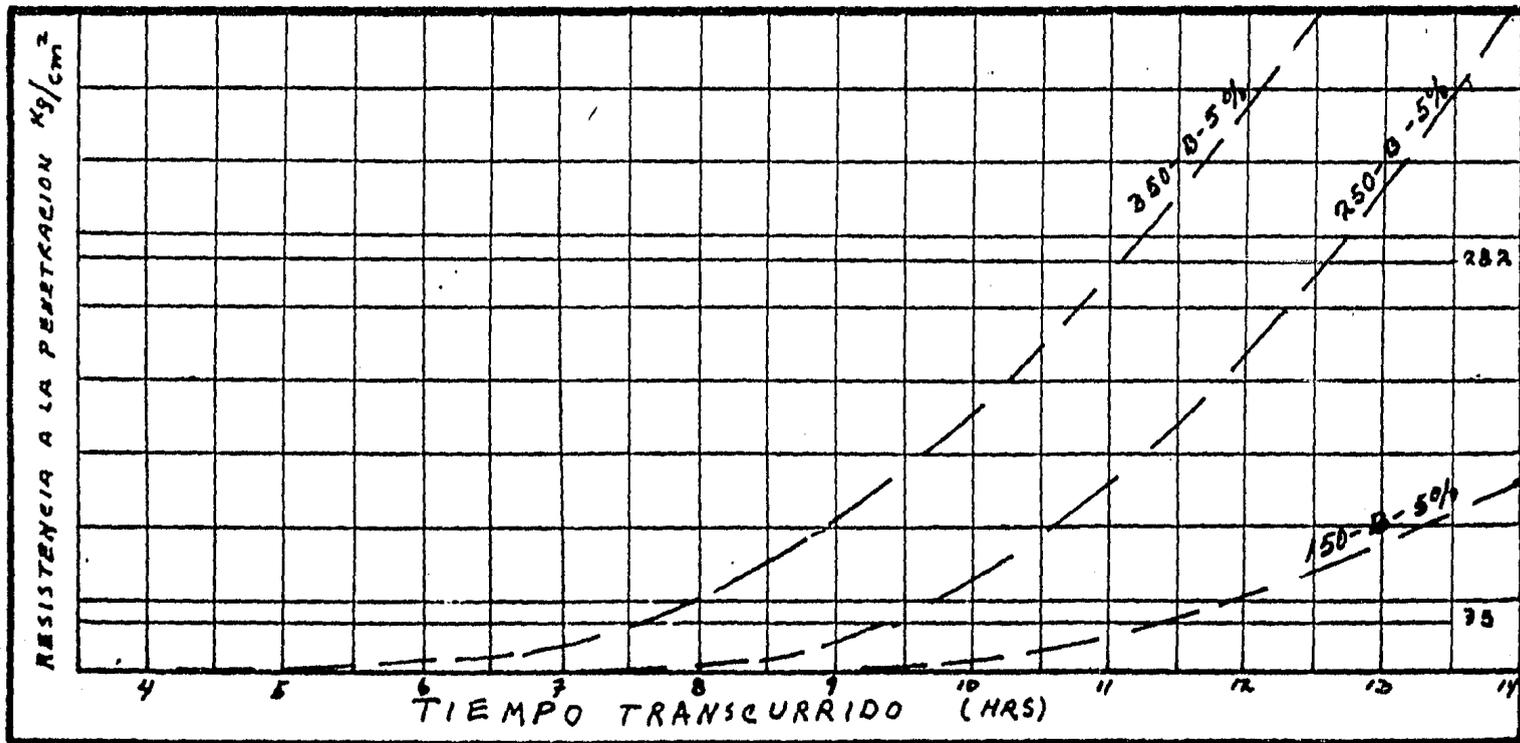
GRAFICA VII.4 CURVAS DE RESISTENCIA A LA PENETRACION EN FUNCION DEL DISEÑO DE MEZCLAS SIN CONTAMINAR.



GRAFICA VII.5 CURVAS DE RESITENCIA A LA PENETRACION PARA UNA CONTAMINACION DE LODO BENTONITICO DEL 1%.



GRAFICA VII.6 CURVAS DE CONTAMINACION DE RESISTENCIA A LA PENETRACION DEL 38 CON LODO BENTONITICO.



GRAFICA VII.7 CURVAS DE RESISTENCIA A LA PENETRACION PARA UNA CONTAMINACION CON LODO BENTONITICO DEL 5%.

VII.2 COMPRESION

La tabla VII.8 muestra los resultados obtenidos con las pruebas de compresión a los 3, 7 y 28 días para todas las resistencias y porcentajes de contaminación con lodo bentonítico.

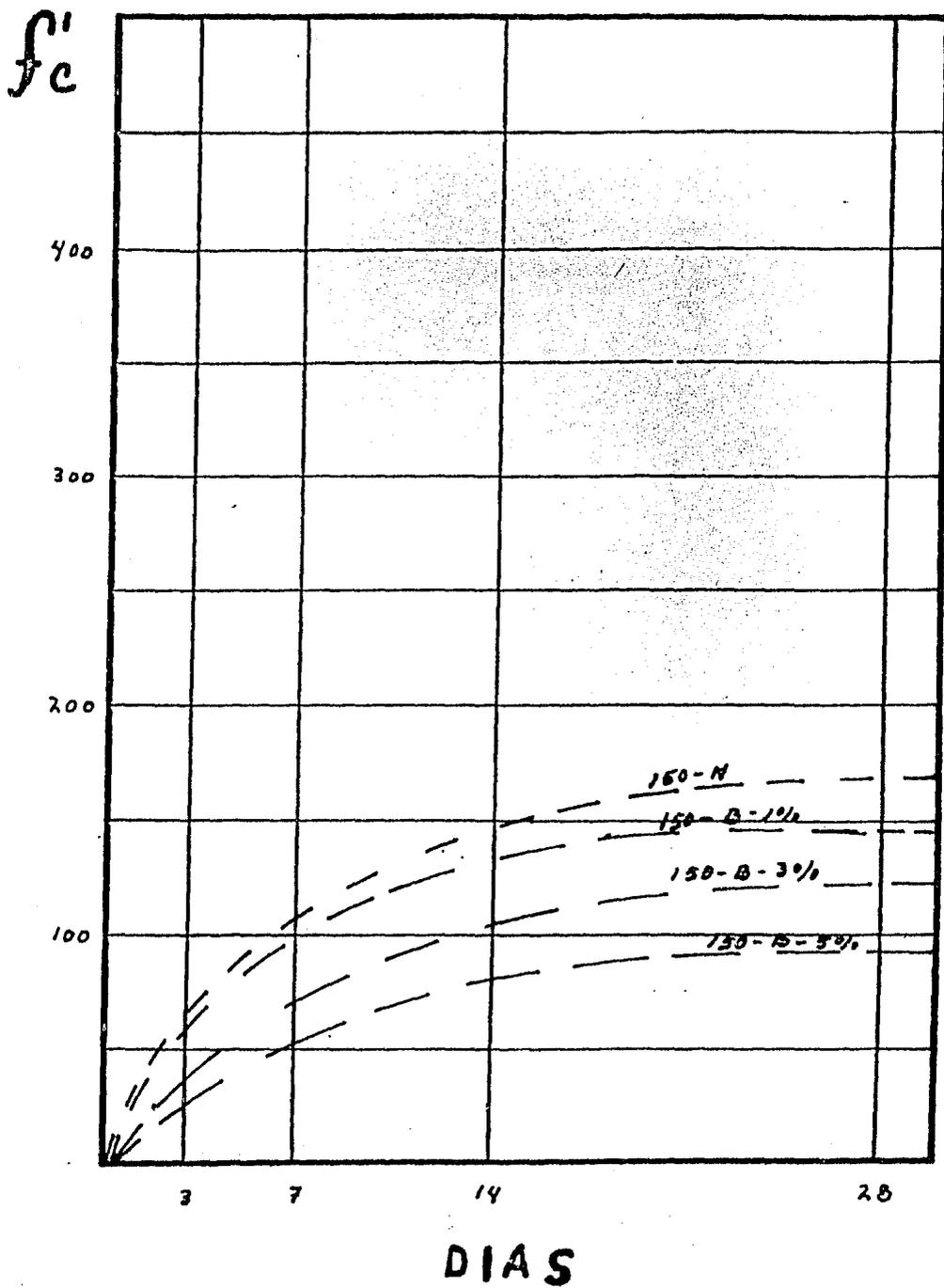
Como se expuso antes, las graficas VII.9 a VII.11, muestran las variaciones de resistencia en función del tiempo para cada valor de resistencia de diseño y así como los valores obtenidos para cada porcentaje de contaminación.

Las gráficas VII.12 a VII.15, muestran para cada porcentaje de contaminación con lodo bentonítico, los resultados en las resistencias de diseño.

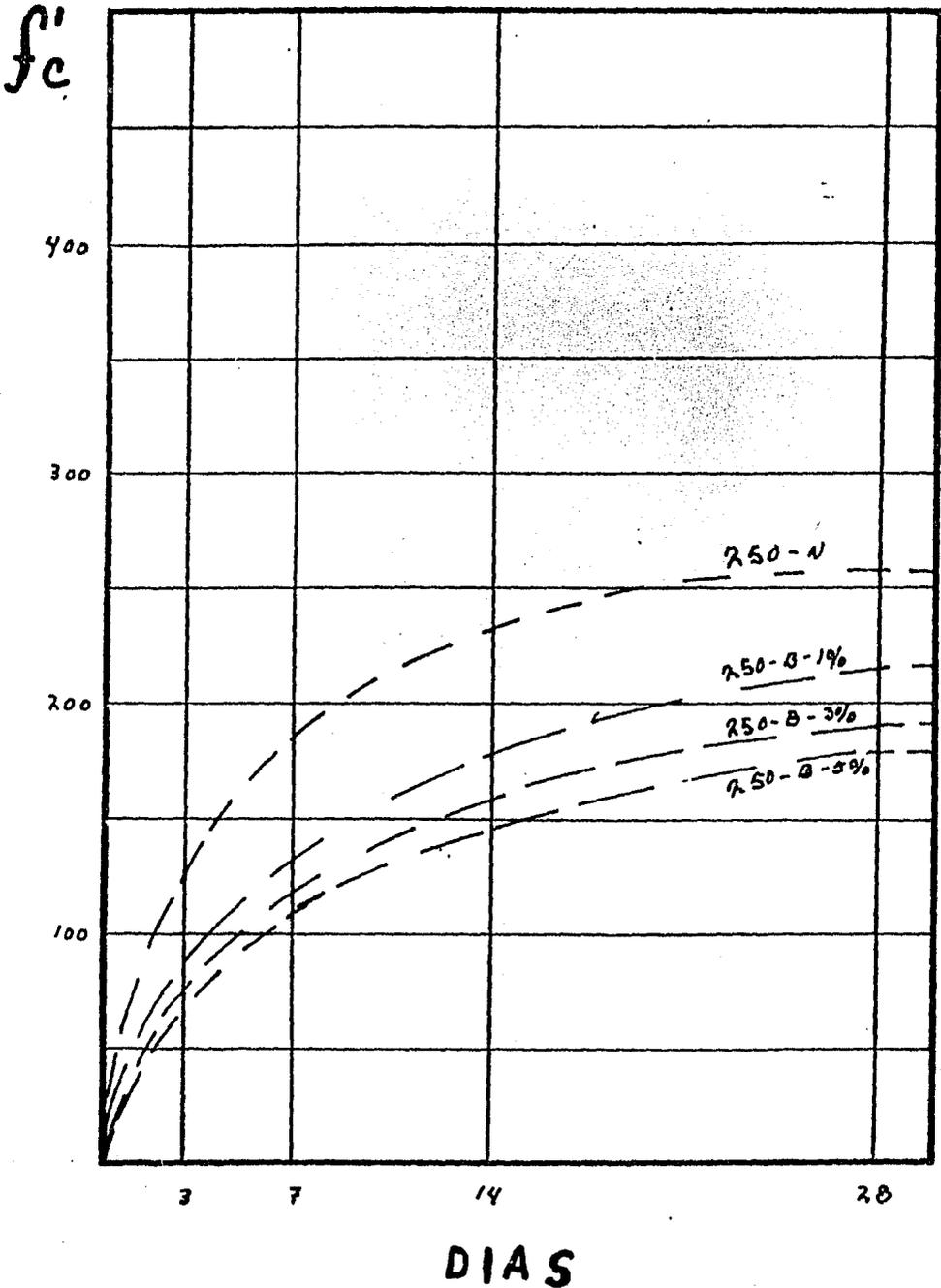
TABLA VII.8 DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA A COMPRESION.

RESISTENCIA DE DISEÑO	N	1%	3%	5%
150 kg/cm ²	66.68	59.3	41.9	33.06
250 kg/cm ²	126.20	119.9	113.5	108.10
350 kg/cm ²	201.7	192.3	165.4	140.0
PRUEBA DE COMPRESION A LOS 3 DIAS				
PRUEBA DE COMPRESION A LOS 7 DIAS				
150 kg/cm ²	111.2	103.2	74.6	56.85
250 kg/cm ²	182.98	167.7	151.6	142.40
350 kg/cm ²	288.30	256.6	238.3	216.30
PRUEBA DE COMPRESION A LOS 28 DIAS				
150 kg/cm ²	174.4	147.02	129.3	96.28
250 kg/cm ²	255.0	217.1	196.0	187.60
350 kg/cm ²	354.9	324.9	301.26	274.0

GRAFICA VII.9 RESISTENCIAS OBTENIDAS PARA EL DISEÑO DE 150 kg/cm²

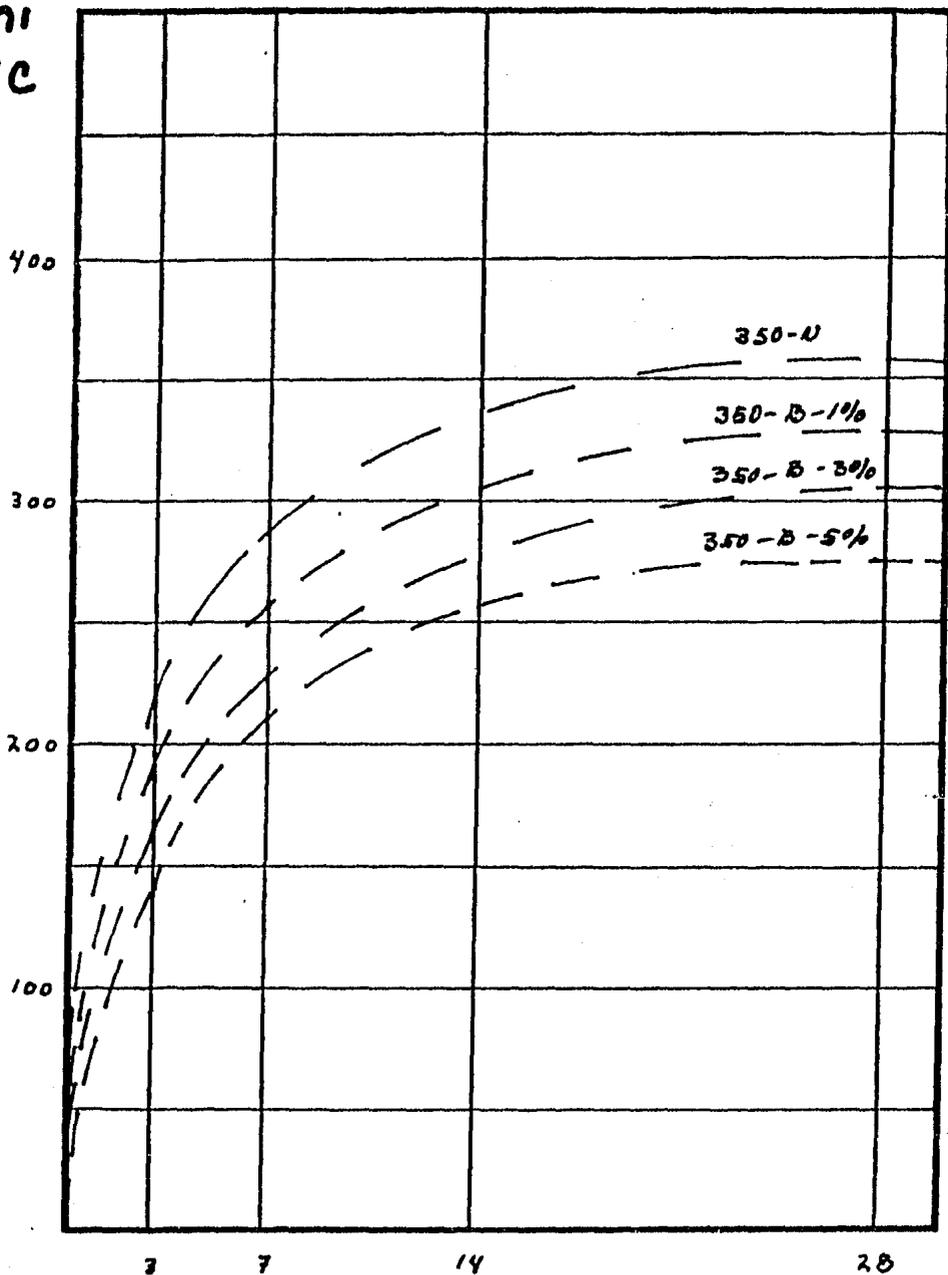


GRSFICA VII.10 RESISTENCIAS OBTENIDAS PARA EL DISEÑO DE 250 kg/cm²



GRAFICA VII.11 RESISTENCIAS OBTENIDAS PARA EL DISEÑO DE 350 kg/cm².

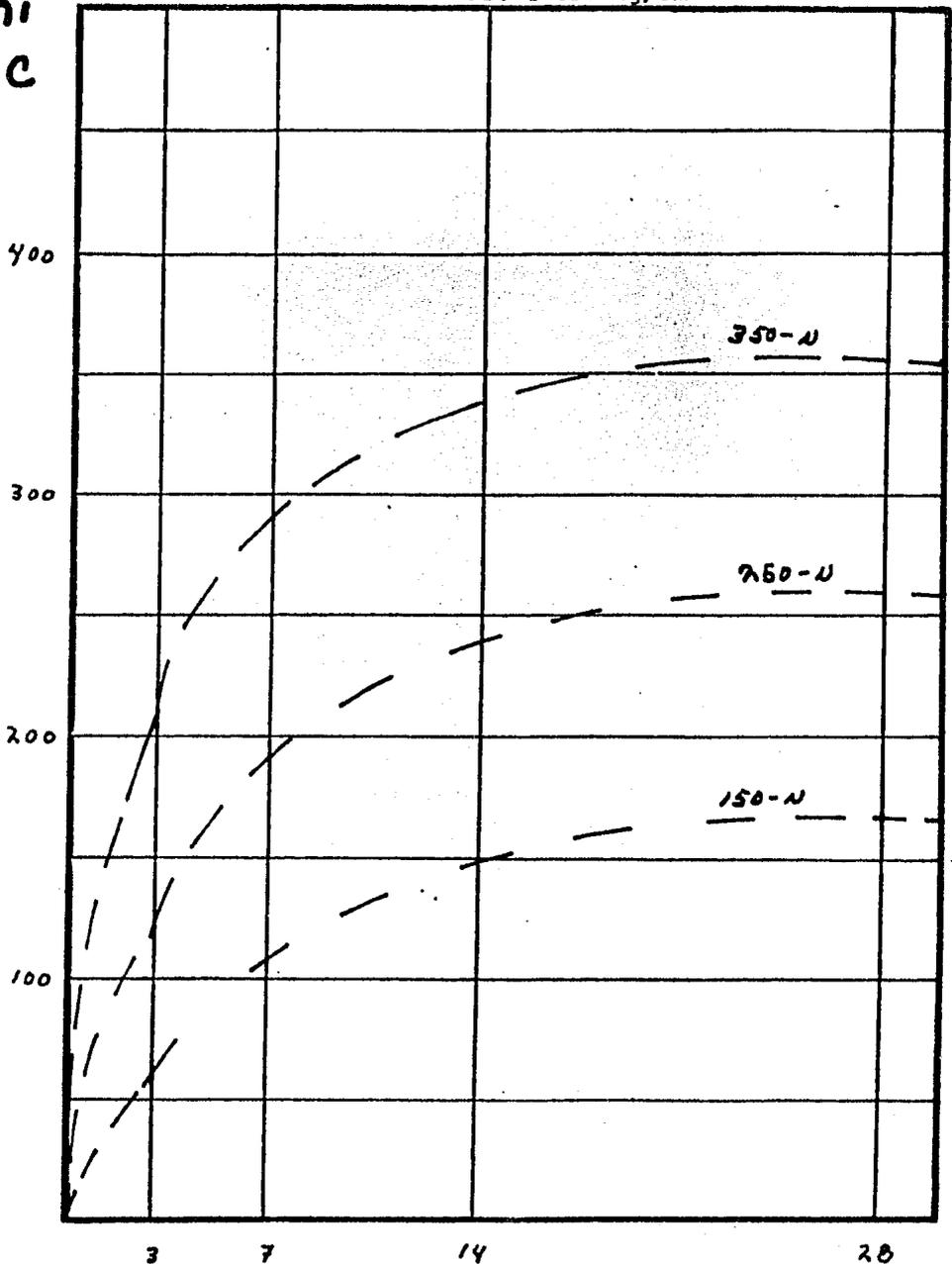
f'_c



DIAS

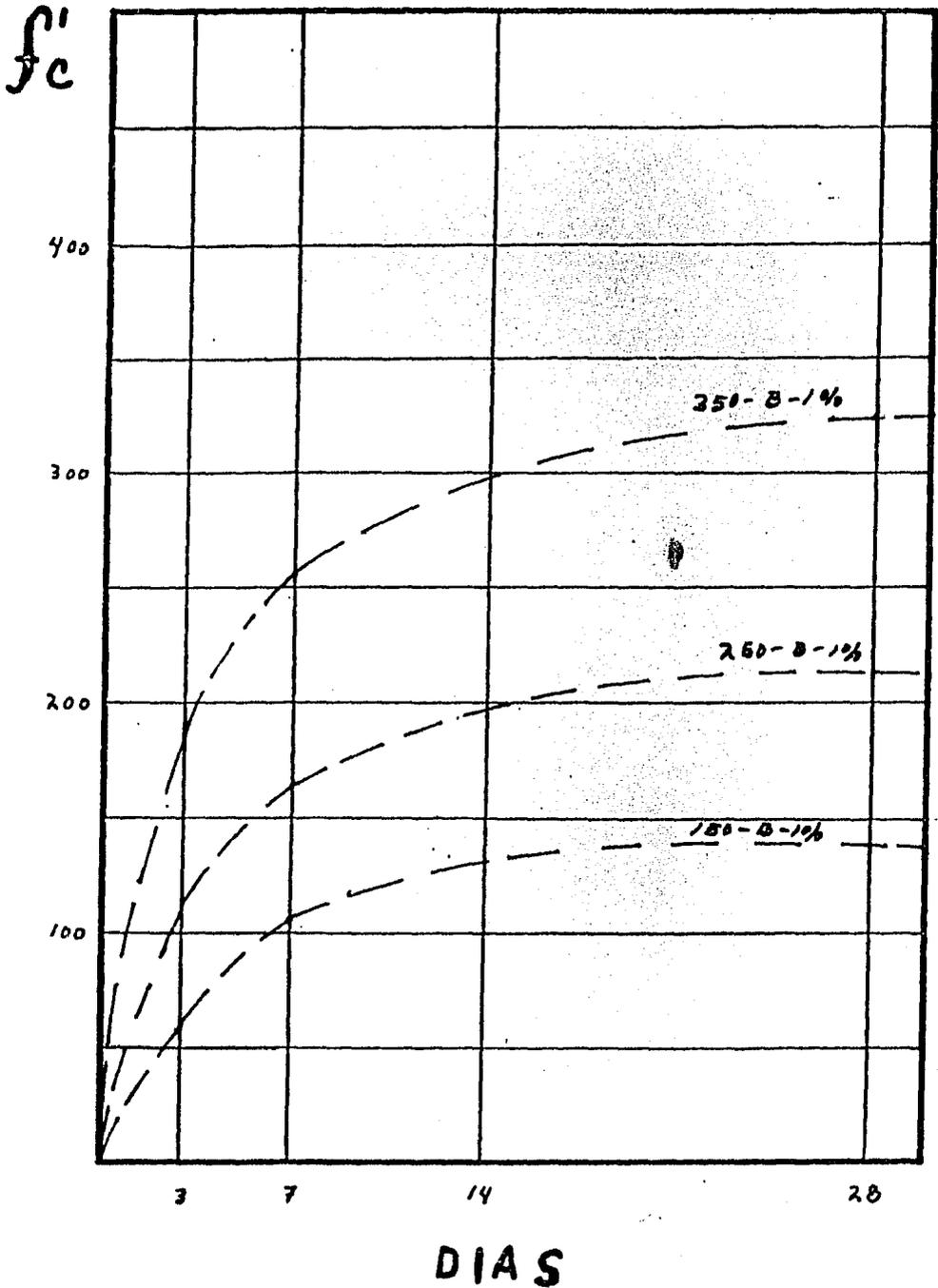
GRAFICA VII.12 RESISTENCIAS OBTENIDAS EN FUNCION DEL DISEÑO DE MEZCLA PARA 150, 250 Y 350 kg/cm²

f'_c



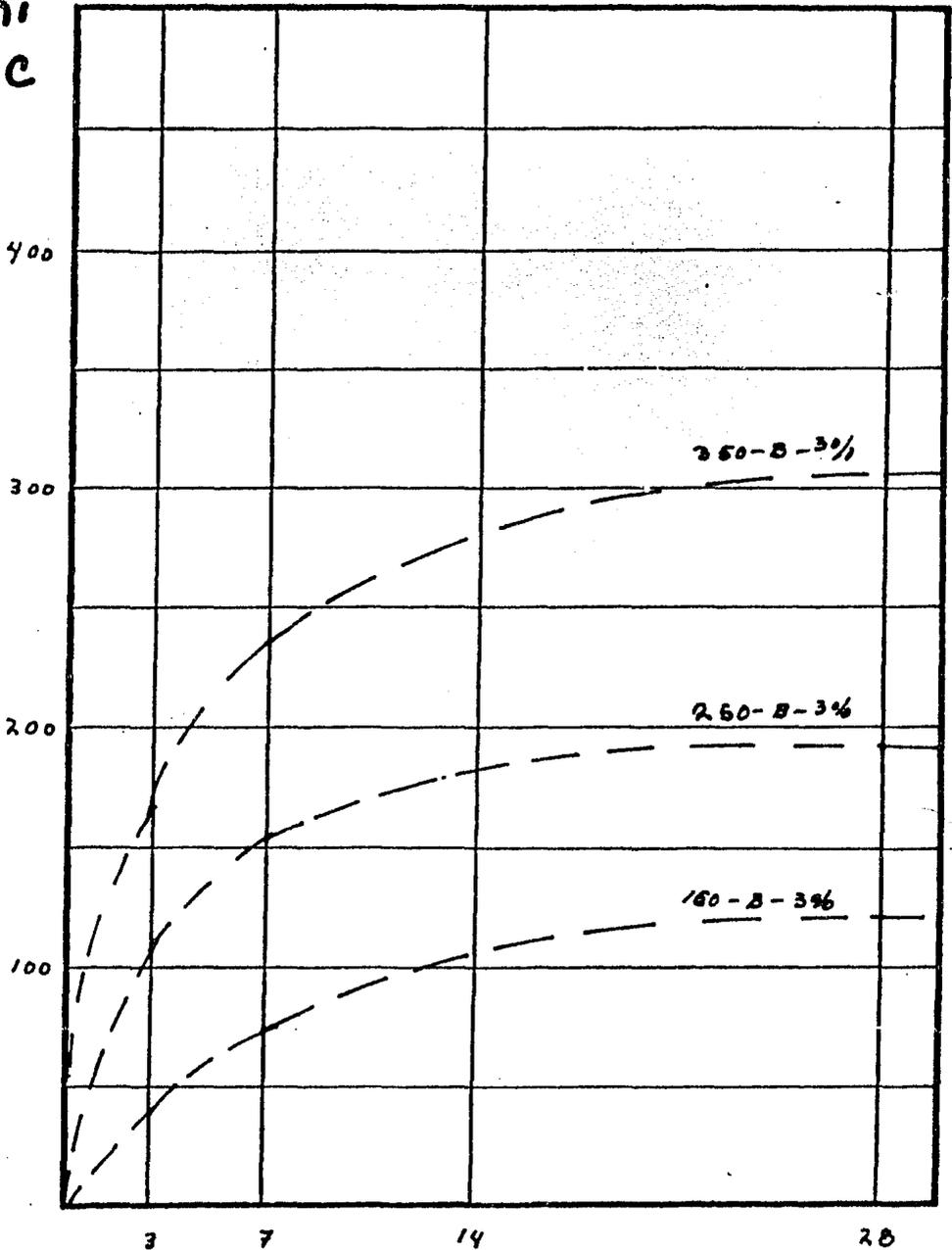
DIAS

GRAFICA VII.13 RESISTENCIAS O TENIDAS EN FUNCION DEL DISEÑO DE MEZCLA PARA UNA CONTAMINACION DEL 18.



GRAFICA VII.14 RESISTENCIAS OBTENIDAS EN FUNCION DEL DISEÑO DE MEZCLAS PARA UNA CONTAMINACION DEL 3%.

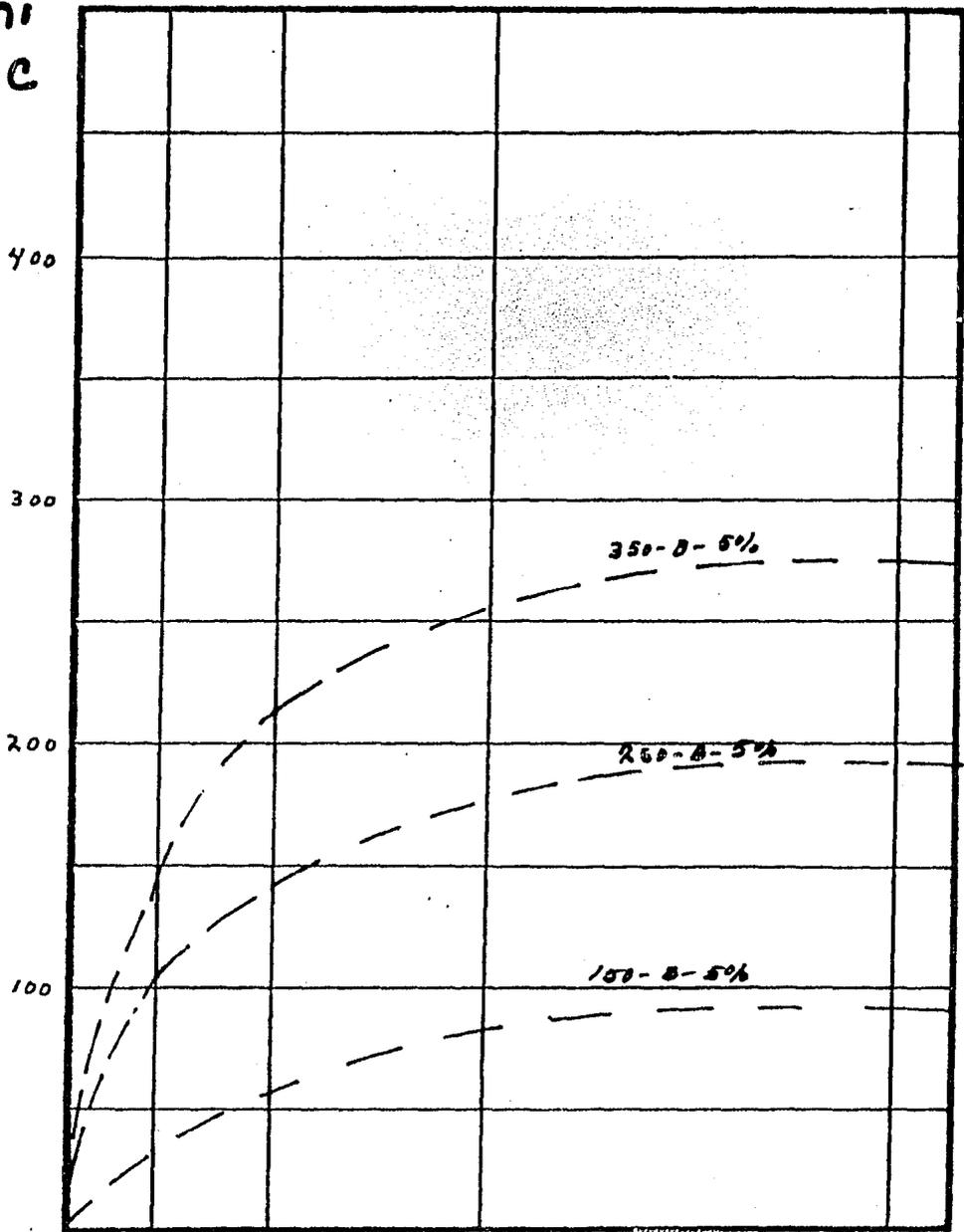
f'_c



DIAS

GRAFICA VII.15 RESISTENCIAS OBTENIDAS EN FUNCION DEL DISEÑO DE MEZCLAS PARA UNA CONTAMINACION DEL 5%.

f_c'



DIAS

VII.3 FLEXION

La prueba de flexión, implica el concepto de módulo de ruptura, no como unico requisito aunque si el más utilizado en donde se mide el esfuerzo máximo de tensión que soporta una viga de concreto simplemente apoyada.

La presentación de los resultados se refeleja en la tabla VII.16, en donde se colocan además las resistencias a la compresión.

TABLA VII.16 VALORES DEL MODULO DE RUPTURA

RESISTENCIA	MR. OBTENIDO (kg/cm ²)	MR. R.D.F.*
150-N	23.34	24.5
150-B-1%	19.76	
150-B-3%	15.34	
150-B-5%	10.00	
250-N	33.90	31.6
250-B-1%	26.90	
250-B-3%	23.80	
250-B-5%	20.60	
350-N	36.5	37.4
350-B-1%	29.3	
350-B-3%	24.5	
350-B-5%	21.1	

* R.D.F. = REGLAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

VIII. CONCLUSIONES

La investigación de contaminación del concreto por inclusión de bentonita, dio lugar a las siguientes conclusiones:

1° Al añadir a la mezcla de concreto lodo bentonítico aumenta su trabajabilidad.

2° Para las condiciones de fraguado, las contaminaciones del concreto estudiadas, se retardan los tiempos normales de fraguado inicial y final.

3° En el ensaye a compresión a los 28 días, los resultados arrojados muestran que existe una disminución de resistencia, que varía en función de la cantidad de contaminación por lodo bentonítico añadido a la mezcla.

Se presentan menores resistencias para mayores porcentajes de contaminación.

4° Para el ensaye por flexión, los resultados del módulo de ruptura disminuyen en función de la cantidad de contaminación.

Otras conclusiones de esta tesis y referentes al diseño de mezclas, son las siguientes:

1.- El ACI no es una guía que se deba seguir al pie de la letra, ya que en general se vio que faltaba agua para obtener el revenimiento indicado en las tablas.

2.- El peso volumetrico considerado por ACI es mayor del que se obtuvo con agregados del D.F.

3.- Se observó también que para el diseño de mezclas de concreto de diferentes resistencias, utilizando los mismos agregados, las cantidades de agua y grava son constantes; y que las cantidades de cemento y arena varían. Para mayor resistencia se requiere más cemento, cantidad que se resta de la cantidad de arena.

Debido a las limitaciones en cuanto al número de variables que se manejaron y no contar con la suficiente cantidad de ensayos desde el punto de vista estadístico, se recomienda lo siguiente para completar el estudio referente a la contaminación del concreto con lodo bentonítico:

1.- Aumentar el número de ensayos de fraguado, compresión y módulo de ruptura.

2.- Estudiar el cambio volumétrico que se produce por efectos de contaminación.

3.- Modificar la tabla IV.2 que propone el ACI referente a la cantidad de agua que se consume por M^3 de concreto en base a las propiedades de los agregados del D.F.

4.- Realizar varias mezclas de concreto con agregados del D.F. para definir el peso volumétrico real.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- American Society for Testing and Materials, Part 10, "Concrete and mineral Aggregates", (1967).
- 2.- American Concrete Institute, "Practica recomendable para dosificar concreto normal y concreto pesado", Trad. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (ACI 211.1.74), (1980).
- 3.- ASTM, Part 10, "Standard Specifications for Testing purposes", Designation E11-61, 528-534, (1967).
- 4.- ASTM, Part 10, "Standard Specifications for Concrete Aggregates", Designation C 33, 17-22, (1967).
- 5.- ASTM, Part 10, "Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate", Designation C-127, 87-89, (1967).
- 6.- ASTM, Part 10, "Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate", Designation C-138, 87-89, (1967).
- 7.- ASTM, Part 10, "Standard Method of Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying", Designation C-566, 370-371, (1967).
- 8.- ASTM, Part 10, "Tentative Method of Test for Unit Weight of Aggregate", Designation C-29, 4-6, (1967).
- 9.- American Petroleum Institute, Spec 10A, "Oil-Well Cements and Cement Additives", 11, (1980).

- 10.- A.P.I., Spec 13A, "Section 3, Bentonite", 4, (1980).
- 11.- ISTME, "Especificaciones de lodo bentonítico para la estabilización de las zanjas de los muros colados en sitio (Milan), en los tramos subterráneos del Metro Modificación Z, 77-MS-3.00-III-3-6-C, 1-4, (1977).
- 12.- B.S., "Metodo para el muestreo y prueba de agregados minerales, arenas y rellenos", designación 812, (1967)
- 13.- IMCYC, "Practica recomendable para dosificar concreto normal y concreto pesado, (ACI, 211.1.74), (1980).
- 14.- ASTM, Part 10. "Tentative Method of Test for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance", Designation C-403, 299-302, (1967).
- 15.- ASTM, Part 10, "Standard Method for Making and Curing Concrete Compression and Flexure Test Specimens in the Field", Designation C-31, 8-16, (1967).
- 16.- ASTM, Part 10, "Standard Method of Test for Compressive Strength of Molded Concrete Cylinders", Designation C-39 27-29, (1967).
- 17.- ASTM, Part 10, "Standard Method of Making and Curing Concrete Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory", Designation C-192, 141-151, (1967).
- 18.- ASTM, Part 10, "Standard Method of Test for Flexural Strength of Concrete", Designation C-78, 39-41, (1967).
- 19.- ASTM, Part 10, "Standard Method of Test for Surface Moisture in Fine Aggregate", Designation C-70, 36-38, (1967).