

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



Investigación de las propiedades mecánicas
de bloques de Suelo-cemento fabricados con suelos
de la zona metropolitana de Monterrey, N. L.

TESIS

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

presenta

Juan Carlos Navarro Mata

Universitaria

Julio de 1993

T
TA434
N3
c.1

41



1080072711

SINODALES



DR. RAYMUNDO RIVERA VILLAREAL
PRESIDENTE.



ING. REYES MARTINEZ MATA.
SECRETARIO.



ING. MIZAEL IZAGUIRRE GONZALEZ
VOCAL.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



Investigación de las propiedades mecánicas
de bloques de Suelo-cemento fabricados con suelos
de la zona metropolitana de Monterrey, N. L.

TESIS

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

presenta

Juan Pablo Navarro Mata

Cd. Universitaria

Julio de 1993

T
+A434
N3



**Investigación de Propiedades Mecánicas
de Bloques de Suelo-Cemento Fabricados con
Suelos de la Zona Metropolitana de Monterrey.**

Dedico esta Tesis a mis Padres,

que no han podido ver la conclusión de mis estudios de Licenciatura.

José Navarro Moya(+)

María del Carmen Mata Molina(+)

Con agradecimiento a quienes con su ayuda desinteresada y eficaz han hecho posible esta Tesis.

Dr. Ing. Raymundo Rivera Villarreal, por la acertada dirección y asesoría de Tesis.

Ing. José Ignacio Rincón.

Ing. Rodolfo Meza.

M. C. Marcos García.

Ing. José Navarro.

Marco Octavio Conteras.

Alberto Alejandro Torres.

Mario Sánchez.

Juan Pablo Navarro Mata.

INDICE

Proposición

Justificación de la investigación

Introducción

1	Reseña histórica	1
2	Propiedades y clasificación de los suelos utilizados	4
3	Relación humedad-densidad de mezclas de suelo-cemento	15
	3.1 Introducción	
	3.2 Métodos de ensaye	
	3.3 Resultados	
	3.4 Conclusiones	
4	Resistencia a la compresión al variar el contenido de cemento	60
	4.1 Introducción	
	4.2 Métodos de curado y ensaye de especímenes de suelo-cemento	
	4.3 Conclusiones	
5	Pérdida de material en el suelo-cemento como medida de durabilidad	81
	5.1 Introducción	
	5.2 Procedimientos de ensaye	
	5.3 Resultados	
	5.4 Conclusiones	
6	Influencia del mezclado en la resistencia a la compresión	88
	6.1 Teoría	
	6.2 Procedimiento de ensaye	
	6.3 Conclusiones	
	6.4 Recomendaciones para mezclado	
7	Influencia de la madurez en la resistencia a la compresión	92
	7.1 Teoría	
	7.2 Procedimiento de fabricación de bloques	
	7.3 Ensaye	
	7.4 Resultados de ensaye a compresión	
	7.5 Conclusiones	
8	Conclusiones generales	101

ASUNTO: Petición de aprobación del Título de Tesis para presentar mi examen profesional para obtener el Título de Ingeniero Civil en la U.A.N.L.

Comisión de Exámenes Profesionales de la Facultad de Ingeniería Civil de la UANL
Presente.-

A través de la presente, me permito saludarles y poner a su consideración el Título de mi Tesis para presentar examen profesional en la Licenciatura de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Título: Investigación de las Propiedades Mecánicas de Bloques de Suelo-Cemento Fabricados con Suelos de la Zona Metropolitana de Monterey.

La investigación versa sobre la producción de un material de construcción - que venga a abatir los costos de producción sin menoscabo de la calidad en las propiedades mecánicas.

Como solución propongo un bloque de Suelo-Cemento con características geométricas definidas para amarrar en dos direcciones y de manera que su colocación no requiera de mano de obra especializada.

De éstos bloques se investigará:

- I.- Determinación de la relación óptima Humedad-Densidad de Mezclas de Suelo-Cemento con un contenido de cemento hidráulico constante y variando la humedad para encontrar la densidad máxima. Para esta prueba me baso en la norma D558 Métodos de Prueba Estándar para relaciones de Humedad-Densidad de Mezclas de Suelo-Cemento. (Standard Test Methods For Moisture-Density Relations Soli-Cement Mixtures).
- II.- El comportamiento de la resistencia a la compresión al variar el contenido de cemento hidráulico para cada tipo de suelo en estudio y con la óptima relación Humedad-Densidad y llegar a concluir el consumo óptimo, con un curado estándar ASTM 1632. Me baso para esta prueba en la norma D-1633 Métodos de Prueba Estándar para Esfuerzo de Compresión en Cilindros de Suelo-Cemento, (Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders) de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales ASTM.

- III.- Determinación de las pérdidas en el Suelo-Cemento debido a los cambios de humedad y cambios volumétricos producidos por humedecimiento y secado de los especímenes endurecidos de Suelo-Cemento. Esta prueba se basa en la norma D-559-82 Métodos de Prueba Estándar para Humedecido y - Secado de Mezclas de Suelo-Cemento Compactadas. (Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures).
- IV.- Influencia del Mezclado en la resitencia a la compresión de los bloques de Suelo-Cemento para llegar a establecer el procedimiento apropiado - de fabricación.
- V.- Influencia de la madurez en la resistencia a la compresión con un tipo de curado utilizable en zonas rurales y su comparación con el curado - estándar ASTM D-1632.

Se pretende hacer esta investigación para tres suelos diferentes que se encuentran en la zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León.

Una vez terminada la investigación anterior, se obtendrá de esta investigigación una conclusión para los diversos suelos en estudio.

Hago de su conocimiento, que para el desarrollo de esta investigación he estado recibiendo asesoría de el Dr. Reymundo Rivera Villarreal, por lo cual, - solicito se me asigne como asesor oficial.

Sin más por el momento y esperando obtener la aprobación del título para - Tesis, me despido cordialmente de Ustedes.

Juan Pablo Navarro Mata
Matrícula 397868

San Nicolás de los Garza, N. L., a 19 de Abril de 1993.

PROPOSICION:

Ante la acelerada demanda de casas habitación de bajo costo en México, es imprescindible proseguir las investigaciones del uso del suelo-cemento como una alternativa de fabricación de elementos de mampostería para casas habitación y las orientadas al desarrollo de sistemas de construcción, con el objeto de facilitar la autoconstrucción en los ambientes rurales de forma que sean accesibles a familias de escasos recursos económicos y que al mismo tiempo resulte una construcción de buena calidad, durable y confortable para las condiciones climáticas adversas.

JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.

En la actualidad existe en México un déficit de vivienda muy alto que se intenta abatir con autoconstrucción y la construcción de viviendas en serie de interés social y hacerla accesible a el común de gente de bajos recursos económicos.

Con los materiales y procedimientos tradicionales no se ha logrado aún el ideal económico en su totalidad y si se han descuidado las características propias de la vivienda digna para una familia, ya que se ha disminuido el número de metros cuadrados de construcción con el fin de reducir los costos al mínimo y se ha visto una importante disminución en la calidad, durabilidad y habitabilidad de las mismas, debido a la consideración del término "bajo costo" como un sinónimo de reducción de espacios y de calidades en los insumos.

Con el objetivo de coadyuvar a lograr un modelo de casa de interés social, accesible al poder adquisitivo de una familia de escasos recursos económicos y que al mismo tiempo resulte una construcción de muy buena calidad, confortable y de las dimensiones adecuadas a una familia, es por lo que se propone el estudio de las propiedades mecánicas de bloques hechos a base de suelo-cemento, que no es otra cosa que volver a retomar las prácticas milenarias para la construcción de la vivienda del hombre, pero modificando algunas propiedades de forma que sin eliminar las bondades de aquellas, mejoran sus desventajas.

A lo largo de su historia, el hombre ha construido sus viviendas de tierra, utilizando el comúnmente llamado adobe como elemento de mampostería, el cual es obtenido mezclando tierra, paja y agua, hoy en día, se encuentran innumerables construcciones hechas a base de este noble material, luego se utilizó el sillar, que consistía en un bloque que se labraba de bancos de carbonato de calcio relativamente suaves, obteniéndose así un elemento de construcción, más adelante aparecen los ladrillos que son de arcilla cocidos, al aparecer el cemento se comenzó a construir con bloques huecos a base de concreto compactado.

Al comenzar la práctica del suelo-cemento en 1917, el que se ideó para uso de sub-bases para caminos, surge la alternativa de usarlo para la construcción de mamposterías, éste viene a ser un bloque de adobe estabilizado con cemento y con esta técnica se conservan las bondades del adobe y se mejoran las características de buena durabilidad, buena resistencia al desgaste, pequeña variación de volumen por variación de humedad y buena resistencia a la intemperie, es un material incombustible y otorga

un buen aislamiento térmico. Se aprovecha la materia prima de la región, por lo tanto su costo es mínimo, no necesariamente requiere de un proceso industrial para su fabricación ni de y combustible.

Por ello , con el deseo de ahondar en el dominio de los usos prácticos del suelo-cemento y sus principios es se inicia esta investigación con tres tipos de suelos, existentes en grandes volúmenes y ubicados en diferentes zonas periféricas del área metropolitana de Monterrey. Se escogieron tres municipios del área conurbada y estos fueron Apodaca al Norte, Villa de Juárez al Oriente y Villa de García al Poniente. Esto, por accesibilidad, pero con la intención de hacerlo extensivo a zonas rurales donde no existan arenas de fácil acceso ya que en México, existen grandes extensiones territoriales en donde no hay bancos para extraer agregados propios para la fabricación de bloques de concreto y por tanto, su consecución es muy costosa debido al transporte. En otras zonas si existen bancos, pero no la maquinaria necesaria para si procesamiento y es así como en la gran mayoría de las zonas rurales, se hace difícil construir con bloques de concreto.

En esta investigación nos avocamos en primer lugar al estudio de las variables que tienen influencia en la resistencia a la compresión del suelo-cemento,-principal propiedad considerada en los materiales para mampostería- tales como: humedad óptima de mezclas, formas de mezclado, madurez de los especímenes. Así también, como una medida de la durabilidad, el desgaste del suelo-cemento debido a cambios de humedad y al secado.

Como una alternativa de mayor economía se pretende que se utilice la tierra que existe en el área por construir.

INTRODUCCION

Desde el inicio del uso del Suelo-Cemento, en 1917, se han estado investigando sus propiedades para utilizarlo de una manera más adecuada.

El Suelo-Cemento es una mezcla íntima y bien proporcionada de suelo con conglomerante hidráulico artificial que es Cemento Portland, de tal manera que se dé una estabilización de aquél por éste, mejorando las propiedades de la mezcla.(1)

La cohesión del Suelo-Cemento es determinada por el consumo del cemento, su finura, cantidad de agua, naturaleza del suelo, sistema de mezclado y su compactación.

El proceso de estabilización de un suelo por el cemento, es un fenómeno que actualmente no es conocido en su totalidad, aceptándose algunas hipótesis. Una de las más acertadas, explica que debido a la hidratación del cemento, hay un cambio en la densidad de la carga eléctrica en el medio arcilloso, que a través del cambio de cationes origina una atracción entre las partículas, haciendo que se reúnan, formando grumos, determinando de esta forma la pérdida brusca de la plasticidad de la mezcla, el producto final se caracteriza por la formación de cadenas hexagonales que aíslan en su interior partículas que no llegan a ser aglutinadas, impidiendo su dilatación a través de la impermeabilidad.(2)

Con esta Investigación y otras complementarias se pretende concluir que es posible llegar a obtener elementos de mampostería de Suelo-Cemento de tal calidad, durabilidad y costo que lleguen a competir con los materiales de construcción actualmente utilizados, esta posibilidad se llevará a cabo en la medida en que se utilice la tecnología apropiadamente.

Capítulo 1

Reseña histórica

Existe una controversia en cuanto al inicio del uso del Suelo-Cemento en construcciones civiles.

Una de las noticias más antiguas que se conoce, del uso del Suelo estabilizado para construcciones es del siglo III, es la Muralla China en donde se ha utilizado una mezcla de arcilla y cal con una proporción de 3:7.

Según la Cement and Concrete Association, el Suelo-Cemento, fue descubierto por un ingeniero inglés, H. E. Brooke-Bradley, que aplicó el producto en el tratamiento de lechos de carreteras y pistas al sur de Inglaterra.(3)

Para los americanos, el uso del suelo-cemento se remonta a 1917, una vez que por ese año, el ingeniero T. H. Amies usaba ese material, recibió el nombre de soloamies.(4)

En 1929, R. R. Proctor, descubrió la relación que existe entre humedad y peso específico seco, para la compactación de suelos, esto permitió comenzar a desarrollar la investigación del uso del suelo-cemento para algunos tipos de construcciones tales como pavimentación, revestimiento de canales, diques, represas de tierra, estabilización de taludes, ladrillos, paneles y paredes monolíticas.

La primera obra construida de suelo-cemento de la que se encuentran datos, fue un cuarto de máquinas para abastecimiento de las obras del aeropuerto de Staren, en Panamá, Brasil, en 1945. Luego en Petrópolis, Valle Florido, fueron construidas casa habitación con paredes monolíticas de suelo-cemento y en Manaus en 1948 se inició la construcción del hospital Adrimo Jorge con el mismo sistema.

Se han hecho inspecciones en las primeras obras de suelo-cemento en Brasil y se ha demostrado que continúan en perfecto estado de conservación. En el hospital de Manaus, donde el consumo de cemento fue del 6%, la resistencia del material fue de 22.4 kg/cm². Dieciséis años después, corazones extraídos de las paredes han mejorado su resistencia entre 26.5 y 32.6 kg/cm²., en esta edificación las paredes monolíticas

resultaron 12% abajo del costo que si se hubiera construido con albañilería tradicional.(5)

La Asociación de Cemento Portland (PCA) de Estados Unidos , ha sido la principal promotora del suelo-cemento y sus publicaciones han hecho que se conociera internacionalmente, luego de EUA, Alemania y Argentina han proseguido su utilización, actualmente países como Africa, India, Brasil y Colombia principalmente han adoptado esta técnica y cuentan con programas muy amplios de su empleo no solo en construcciones de carreteras sino también para la construcción de viviendas de interés social; en México han sido pocas las aplicaciones que se han realizado y existe poca experiencia de campo del suelo-cemento para carreteras, y en materia de vivienda, existe un marcado interés en su utilización y varias dependencias publicas y privadas lo están incluyendo como una solución más al problema habitacional.

Bibliografía capítulo 1.

- (1) Memoria del 2do. Seminario Latinoamericano sobre construcción de Viviendas Económicas. Vol. Materiales.
Monterrey, N. L. México. Octubre 4, 5 y 6 de 1982.
El Suelo-Cemento en la autoconstrucción de viviendas.
Moema Rivas Silva.
- (2) Idem.
- (3) Idem.
- (4) Idem.
- (5) Idem.

Capítulo 2

Propiedades y Clasificación de los Suelos que se utilizaron en esta Investigación.

2.1 Introducción

Los suelos, al ser remoldeados, cambiando su contenido de agua, adoptan una consistencia a la cual se le ha denominado en la antigüedad como plástica, esta consistencia es debida es debida al contenido de partículas finas de forma laminar, esta forma laminar, ejerce una gran influencia en la compresibilidad del suelo y su tamaño pequeño hace que baje su permeabilidad, por tanto existe una relación entre plasticidad y las propiedades físicas más importantes del suelo.

En la Mecánica de los Suelos, plasticidad es la propiedad de un material por medio de la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

En experimentos realizados por Atterberg, Terzaghi y Goldschmidt, revelan que la plasticidad es debida a la carga eléctrica de las partículas laminares, que generan campos, que actúan como condensadores e influyen en las moléculas bipolares del agua; debido a la relación área-volumen que alcanza valores de gran consideración y las fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie son muy altas, ya que las moléculas del agua son polarizadas al no coincidir los centros de gravedad de sus cargas positivas y negativas, forman dipolos permanentes que al ligarse a la partícula por su carga positiva (+), el polo de carga negativa (-) queda en posibilidad de actuar como origen de atracción para otras partículas con carga positiva, todo este proceso va atrayendo mas moléculas de agua, esta agua adsorbida por cada catión aumenta la carga eléctrica de éste y con su radio iónico, la magnitud de la presión de adsorción aumenta hasta valores de 20,000 kg/cm².(1)

Atterberg, demostró que la plasticidad no era una propiedad constante de las arcillas, sino circunstancial y dependiendo del contenido de humedad, una arcilla muy seca puede tener una consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula y esa misma , con

gran contenido de humedad puede presentar propiedades de un semilíquido o inclusive de una suspensión líquida, entre ambos extremos, existe un rango de contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente.

Según su contenido de agua decreciente un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia estimados por Atterberg.

- 1- Estado líquido, con propiedades y apariencia de suspensión.
- 2- Estado semilíquido, con propiedades de un fluido viscoso.
- 3- Estado plástico, se comporta plásticamente.
- 4- Estado semisólido, en que el suelo tiene apariencia de sólido pero aún disminuye su volumen al ser sometido a secado.
- 5- Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

Los anteriores estados son fases generales por los que pasa un suelo al irse secando y no existen criterios estrictos para distinguir las fronteras. Estas fronteras se ha establecido de forma convencional y Atterberg les llamó límites de consistencia. La frontera convencional entre los dos estados semilíquido y plástico fue llamada límite líquido. Esta definida en términos de una técnica de laboratorio que consistía en ranurar un suelo remoldeado en una cápsula y a base de golpes de la cápsula con una superficie dura hacer cerrar dicha ranura, al cerrarse la ranura a los 25 golpes quería decir que el suelo tiene la cantidad de agua correspondiente al límite líquido.

La frontera convencional entre los estados plástico y semisólido también esta definida términos de manipulación de laboratorio y fue llamado límite plástico. Atterberg colocaba un fragmento de suelo hasta convertirlo en un cilindro de espesor no especificado, el desmoronamiento y agrietamiento del rollito en un momento dado, indicaba que había llegado al límite plástico, y el contenido de agua en tal momento era la frontera deseada. A las fronteras anteriores se les ha llamado límites de plasticidad.

Atterberg consideraba que la plasticidad del suelo quedaba determinada por el límite líquido y por la cantidad máxima de arena que podía ser agregada al suelo, estando este con su contenido de humedad correspondiente al límite líquido, sin que perdiera por completo su plasticidad. Además encontró que las diferencias entre los valores de los límites de plasticidad, llamada índice plástico se relacionaba fácilmente con la cantidad de agua añadida, siendo de mas fácil determinación por lo que sugirió su uso, en lugar de arena, un segundo parámetro para definir la plasticidad.

$$I_p = L_l - L_p$$

Otros límites de consistencia, señalada por Atterberg son: .
Límite de adhesión, definido como el contenido de agua con que la arcilla pierde sus propiedades de adherencia con una hoja metálica; Límite de cohesión, definido como

el contenido de agua en que los grumos de arcilla ya no se adhieren entre sí; Límite de contracción, frontera entre los estados de consistencia semisólido y sólido, definido con el contenido de agua con el que el suelo ya no disminuye su volumen al seguirse secando.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL
LIMITES DE CONSISTENCIA

A: INVESTIGACION SUELO-CEMENTO SONDEO: _____
 LOCALIZACION: APODACA MUESTRA: _____
 FECHA: _____ PROFUNDIDAD: _____

DESCRIPCION VISUAL: _____

LIMITE LIQUIDO.

Nº	W _h + CRISTAL	W _s + CRISTAL	W AGUA	PESO DEL CRISTAL	W _s	HUMEDAD	Nº
	grs.	grs.	grs.	grs.	grs.	%	GOLPES

LL = 28.4 %
 LP = 20 %
 IP = 8.4 %
 CL = 4 %

LIMITE LIQUIDO.

1	45.21	37.11	8.1	8.62	28.49	28.4	25

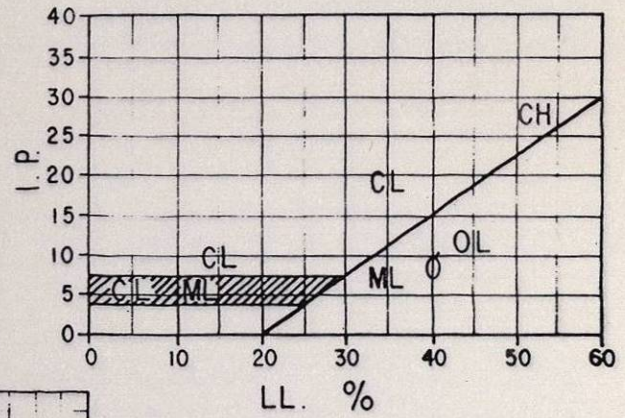
LIMITE PLASTICO.

1	16.0	14.17	1.29	8.43	6.37	20
2	17.54	15.99	1.55	8.27	7.72	20

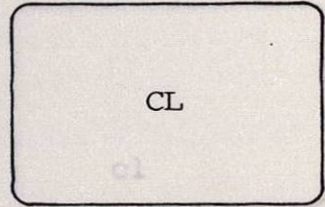
CONTRACCION LINEAL.

DISEÑO MOLDE EN MM.	LONGITUD BARRA MATERIAL SECO, EN MM.	% CONTRACCION LINEAL.
100	96	4

CARTA DE PLASTICIDAD.



CLASIFICACION SUCS.



OBSERVACIONES.

Nº	20	25	30	35	40

Nº DE GOLPES

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL

LIMITES DE CONSISTENCIA

A: INVESTIGACION SUELO-CEMENTO SONDEO: _____
 LOCALIZACION: VILLA DE JUAREZ. MUESTRA: _____
 A: _____ PROFUNDIDAD: _____

DESCRIPCION VISUAL: Arcilla calichosa con nodulos de carbonato.

LIMITE LIQUIDO.

SUELO	W _h + CRISTAL	W _s + CRISTAL	W AGUA	PESO DEL CRISTAL	W _s	HUMEDAD.	Nº
	grs.	grs.	grs.	grs.	grs.	%	GOLPES

LL = 34 %
 LP = 19 %
 IP = 15 %
 CL = 9 %

LIMITE LIQUIDO.

SUELO	W _h + CRISTAL	W _s + CRISTAL	W AGUA	PESO DEL CRISTAL	W _s	HUMEDAD.	Nº
	43.70	34.71	8.99	8.29	26.42	34.0	25

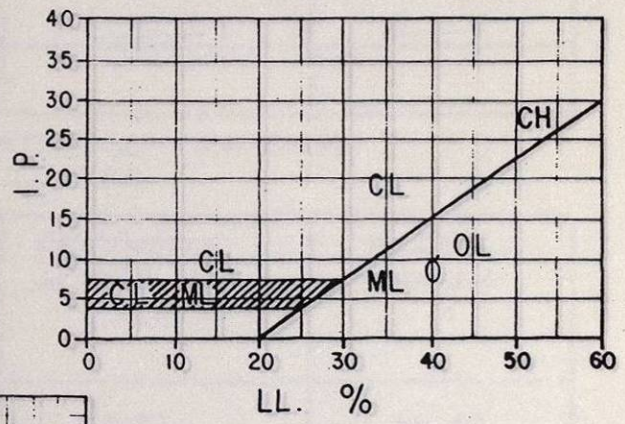
LIMITE PLASTICO.

SUELO	W _h + CRISTAL	W _s + CRISTAL	W AGUA	PESO DEL CRISTAL	W _s	HUMEDAD.	Nº
	24.30	21.69	2.61	8.1	13.59	19	
	23.45	21.0	2.45	8.32	12.68	19	

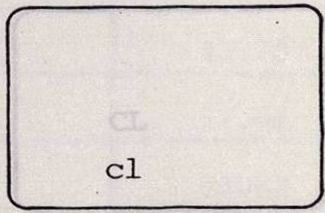
CONTRACCION LINEAL.

SITUACION MOLDE EN MM.	LONGITUD BARRA MATERIAL SECO, EN MM.	% CONTRACCION LINEAL.
100	91	9

CARTA DE PLASTICIDAD.



CLASIFICACION SUCS.



OBSERVACIONES.

Observaciones:

SUELO	W _h + CRISTAL	W _s + CRISTAL	W AGUA	PESO DEL CRISTAL	W _s	HUMEDAD.	Nº

20 25 30 35 40
 Nº DE GOLPES

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

INSTITUTO DE INGENIERIA CIVIL

LIMITES DE CONSISTENCIA

INVESTIGACION SUELO-CEMENTO.	SONDEO: _____
LIZACION: VILLA DE GARCIA.	MUESTRA: _____
A: _____	PROFUNDIDAD: _____

IFICACION VISUAL. _____

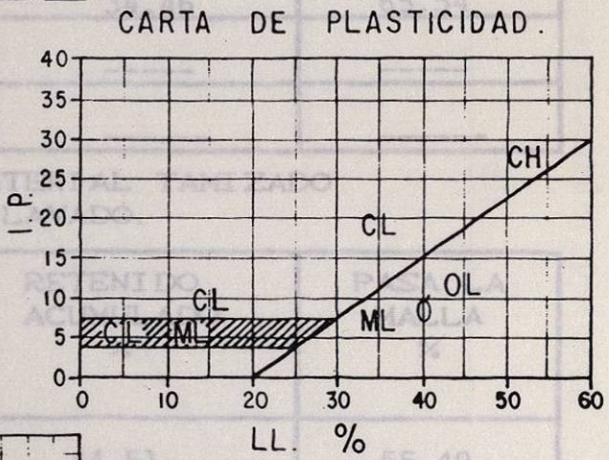
LIMITE LIQUIDO.							
W _{h+}	W _{s+}	W	PESO	W _s	HUMEDAD.	N ^o	
CRISTAL	CRISTAL	AGUA	DEL	grs.	%	GOLPES	
grs.	grs.	grs.	CRISTAL	grs.	grs.		

LL = 27.7 %
 LP = 16.8 %
 IP = 10.9
 CL = 6.5 %

LIMITE LIQUIDO.						
46.29	38.07	8.22	8.42	29.65	27.7	

LIMITE PLASTICO.						
21.06	19.27	1.74	8.43	10.84	16.51	
26.48	23.85	2.63	8.40	15.45	17.0	

CONTRACCION LINEAL.		
SITUD MOLDE	LONGITUD BARRA	% CONTRACCION
EN MM.	MATERIAL SECO,	LINEAL.
	EN MM.	



CONTRACCION LINEAL.				

CLASIFICACION SUCS.

CL

OBSERVACIONES.

Arcilla inorgánica de
baja compresibilidad.

20 25 30 35 40
N^o DE GOLPES

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE VIAS TERRESTRES
 DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA

POSO NETO 6,000 GRS. SUELO APODACA.

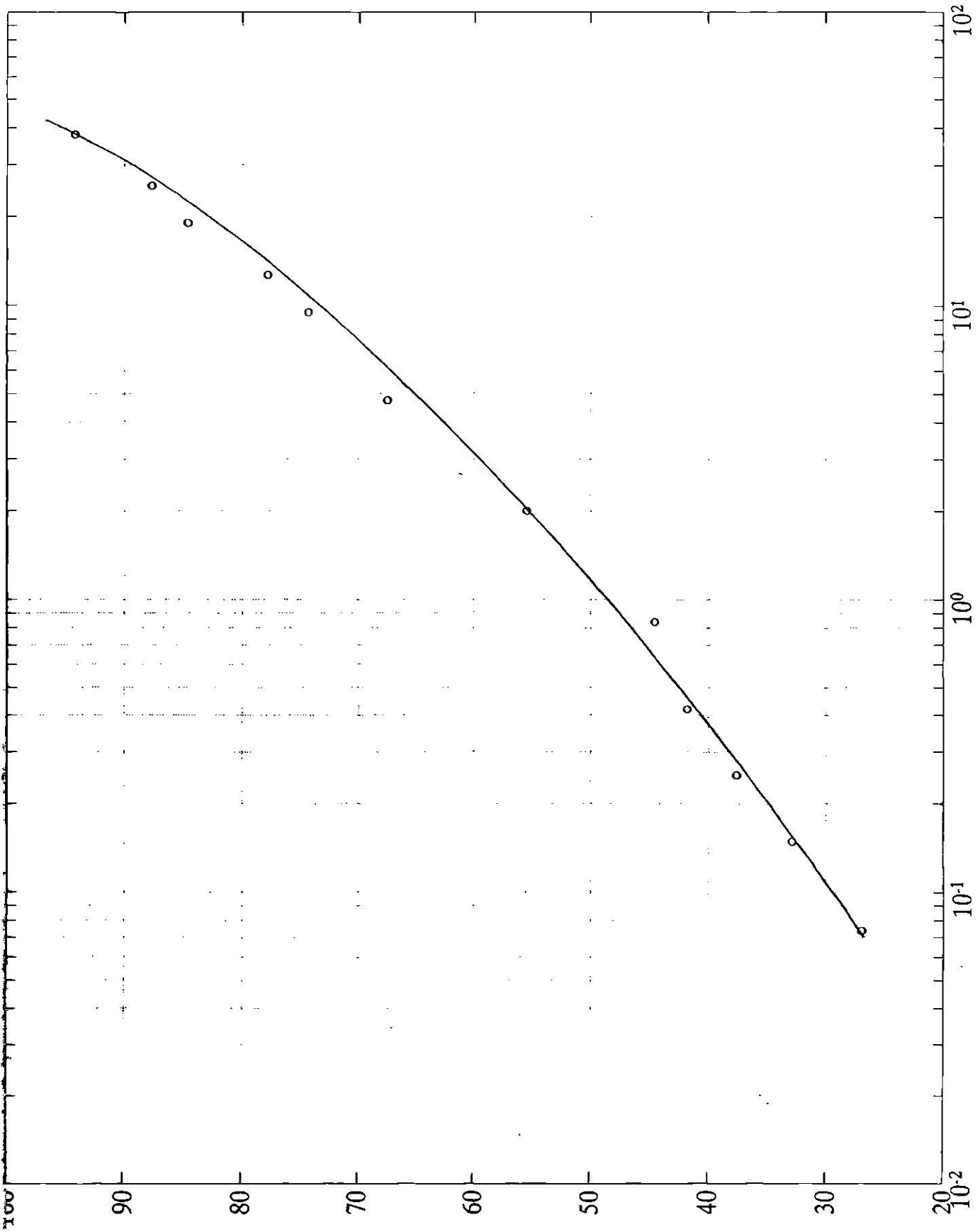
COMPOSICION GRANULOMETRICA , MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4.

MALLA M.	PESO RETENIDO PARCIAL GRS.	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA LA MALLA %
1/2"	344.8	5.74	5.74	94.26
"	399.3	6.65	12.39	87.61
1/4"	182.1	3.03	15.42	84.58
1/2"	400.0	6.66	22.08	77.92
3/8"	211.5	3.52	25.60	74.40
1/4"				
4	531.9	34.46	34.46	65.54
SA 4	3930.4	-----	-----	-----
TOMA	6000.0	-----	-----	-----

COMPOSICION GRANULOMETRICA , MATERIAL TAMIADO POR LA MALLA No. 4 POR LAVADO.

MALLA NUM.	PESO RETENIDO		RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA LA MALLA %
	PARCIAL GRS.	PARC. CORR. GRS.			
10	30.6	603.31	10.05	44.51	55.49
20	33.4	656.31	10.93	55.44	44.56
40	8.5	167.02	2.78	58.22	41.78
60	12.7	249.55	4.15	62.37	37.63
80	14.7	288.85	4.81	67.18	32.82
100	17.9	351.73	5.86	73.04	26.96
a200	82.1	1613.26	26.88	-----	-----
TOMA	200.0	-----	65.46	-----	-----

ADOR REVISADO



Tama o de la particulas en mm

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE VIAS TERRESTRES
 DETERMINACION DE LA COMPOSICION GRANULOMETRICA

PESO NETO 6,000 GRS. SUELO DE VILLA DE JUAREZ

COMPOSICION GRANULOMETRICA , MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No. 4.

MALLA NUM.	PESO RETENIDO PARCIAL GRS.	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA LA MALLA %
1 1/2"	654.5	10.90	10.90	89.1
1 "	585.0	9.75	20.65	79.35
3/4"	710.1	11.83	32.48	67.52
1/2"	809.9	13.50	45.98	54.02
3/8"	819.6	13.66	59.64	40.36
1/4"	1145.2	19.08	78.72	21.28
No. 4	1020.0	16.99	95.71	4.29
PASA 4	255.7	4.29	-----	-----
SUMA	6000.0	100.00	-----	-----

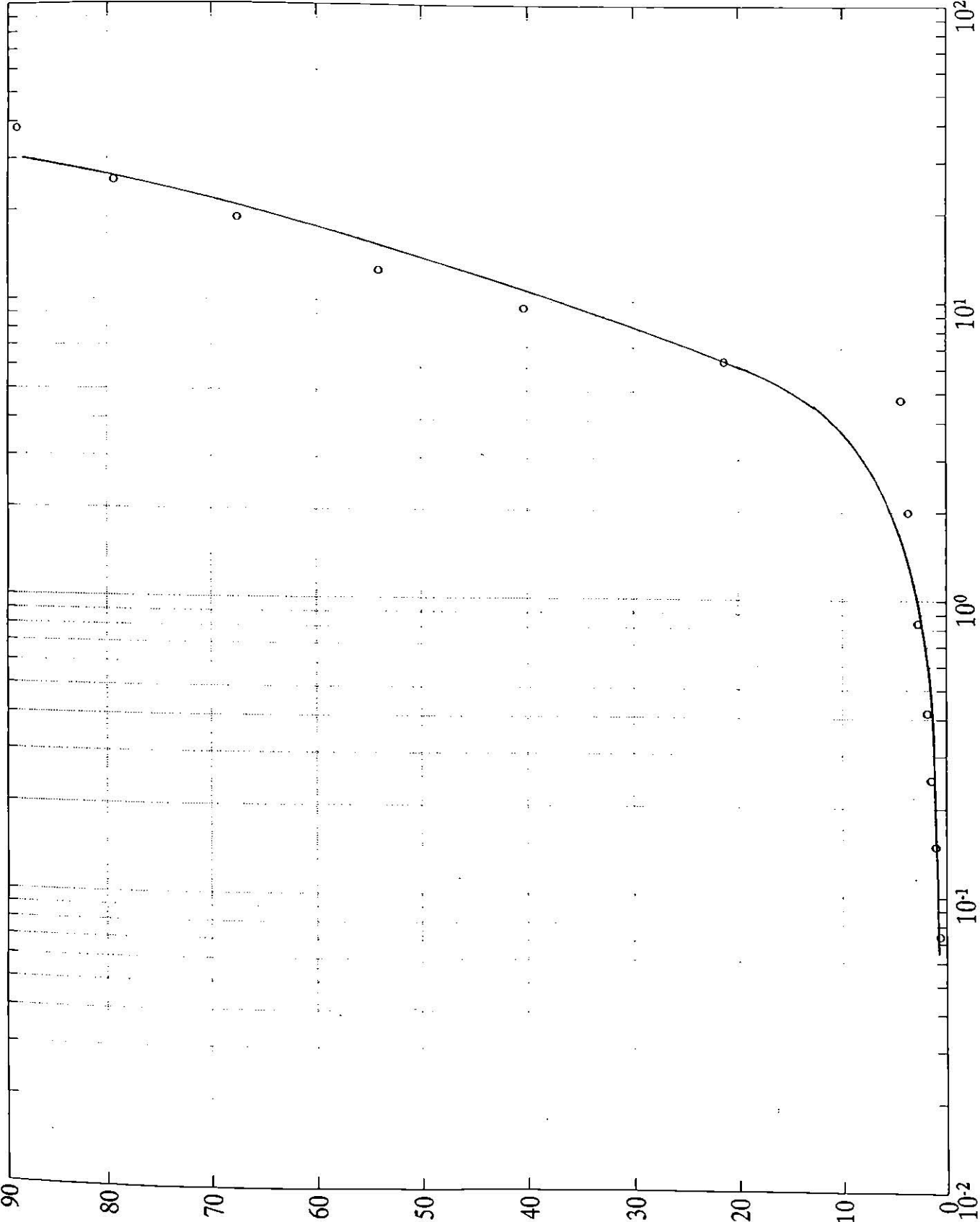
COMPOSICION GRANULOMETRICA , MATERIAL TAMIZADO
 POR LA MALLA No. 4 POR LAVADO.

MALLA NUM.	PESO RETENIDO		RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASA LA MALLA %
	PARCIAL GRS.	PARC. CORR. GRS.			
10	30.3	40.35	0.676	96.38	3.62
20	44.1	56.00	0.939	97.32	2.62
40	39.7	50.73	0.850	98.17	1.83
60	18.2	23.26	0.390	98.56	1.44
100	17.0	21.73	0.360	98.92	1.08
200	18.5	23.64	0.396	99.32	0.68
Pasa200	32.2	41.15	0.690	-----	-----
SUMA	200.00	-----	4.300	-----	-----

OPERADOR

REVISADO

% de tamazos menores que o porcentaje que pasa



Tama o de la particulas en mm

Bibliografía capítulo 2.

- (1) Fundamentos de la Mecánica de los Suelos.
Editorial Limusa.
Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rdz.
- (2) Idem.

Capítulo 3

Relación Humedad-Densidad de Mezclas de Suelo-Cemento.

El objetivo de este capítulo es la determinación de la relación óptima Humedad-Densidad de Mezclas de Suelo-Cemento con un contenido de cemento hidráulico constante y variando la humedad para encontrar la densidad máxima.

3.1 Introducción

El primer método utilizado en la Mecánica de los Suelos para reproducir en laboratorio las compactaciones dadas en campo ha sido el utilizado por R.R Proctor y hoy es conocido como Prueba Proctor Estándar o A.A.S.H.O. (American Association of State Highway Officials) Estándar. Consiste en compactar el suelo en tres capas, dentro de un molde de dimensiones especificadas y por medio de un pisón, también especificado, que se deje caer libremente dada una altura fijada.(1)

Con este procedimiento R. R. Proctor estudió la influencia que ejercía en el proceso el contenido inicial del agua del suelo, encontrando que este valor tenía una primordial importancia en la compactación lograda; observó que a contenidos de humedad crecientes y a partir de valores bajos, se obtenían mas altos pesos específicos secos y por tanto mejores compactaciones del suelo, pero que esa tendencia no era indefinida, sino que llegaba a un límite el cual al ser rebasado, los pesos específicos secos, empezaron a disminuir, resultando por tanto peores compactaciones del suelo, con esto Proctor determinó que existía una "humedad óptima" la cual producía el máxima peso específico seco que podía lograrse con este procedimiento de compactación.

Lo anterior tiene una explicación, teniendo en consideración que a bajos contenidos de agua, en los suelos finos, del tipo de suelos arcillosos, el agua esta en forma capilar produciendo compresiones entre las partículas del suelo, lo cual tiende

a formar grumos difícilmente desintegrables que dificultan la compactación, el incremento en el contenido de agua disminuye esa tensión capilar haciendo que a una misma energía de compactación produzca mejores resultados, pero si el contenido de agua es tal que haya agua libre en exceso, al grado de llenar todos los vacíos del suelo, produce una mala compactación, ya que este no puede desplazarse inmediatamente bajo los impactos del pisón.

Las probetas Proctor son solo aplicables a suelos finos plásticos o que por lo menos tengan una apreciable proporción de estos.

En la curva densidad contra % de humedad, hay algunos factores, aparte del contenido inicial de agua y la energía específica de compactación, que afectan dicha relación y es importante no subestimarlos por su importancia práctica. Uno de estos factores es el que la curva densidad contra % de humedad es diferente si la curva se efectúa partiendo de un suelo relativamente seco y se va agregando agua para obtener los diferentes puntos a si se parte de un suelo húmedo y se va secando por evaporación, según la prueba progresa. Las investigaciones experimentales comprueban que en el primer caso se obtienen pesos específicos mayores que en el segundo, para un mismo suelo y los mismos contenidos de agua; este efecto parece ser particularmente notable en suelos finos plásticos con contenidos de agua inferiores al óptimo. Este fenómeno se puede explicar de la siguiente manera: cuando el suelo está seco y se le adiciona agua, ésta tiende a quedar en la periferia de los grumos, tendiendo a penetrar en ellas con respecto al tiempo; por otra parte cuando el agua se evapora, va secándose del exterior al interior. Por tanto, a un mismo contenido de humedad, se tienen condiciones diferentes en los grumos del suelo; en el primer caso, en que el agua se agregó, la presión capilar entre los grumos será menor por el exceso de agua en comparación con el segundo caso, en el segundo caso, en que la evaporación hace que los meniscos se desarrollen más, por lo que en el primer caso la ligazón entre los grumos será menor, haciendo que una misma energía de compactación sea más eficiente para compactar el suelo que el segundo.(2)

El contenido de humedad inicial es otro de los factores que influyen, sobre todo cuando la compactación se hace inmediatamente después de haber incrementado la cantidad de agua para llegar a la requerida.

Este fenómeno se entiende con lo expuesto anteriormente, ya que en un suelo originalmente bastante seco, el agua que se añade, para llegar al contenido de humedad deseado para la determinación de un punto en la curva, producirá una mayor diferencia inmediata, entre las condiciones de humedad externa e interna de los grumos, que si el suelo hubiera estado originalmente más húmedo, por tanto, es de esperar que los pesos específicos secos obtenidos sean mayores a medida que el suelo original esté más seco.

Es importante aclarar que el peso específico seco máximo y la humedad óptima no son constantes básicas inmutables del suelo, ya que son conceptos relativos variables

que pueden cambiar con el método que se utilice para la compactación. El aumentar el grado de compactación de un suelo puede ser o no benéfico dependiendo del tipo de suelo y de su contenido de agua, por tanto podemos decir que la compactación de los suelos es un tratamiento mecánico que se da a estos con el fin de mejorar sus características de comportamiento mecánico y su permanencia ante el ataque de ciertos agentes del intemperismo.

3.2 Métodos de ensaye utilizados

El ensaye de humedad-densidad se emplea para determinar la máxima densidad que por compactación se les proporciona a las mezclas de suelo cemento y el contenido de humedad con el cual se logra obtener ésta y que viene a ser, el contenido de humedad de diseño de la mezcla, este ensaye se llama Proctor. Norma D 558-89 Apéndice A.(3)

El método del ensaye Proctor se realiza según la norma ASTM:D 558-89 ó la norma AASHO: T 134. A continuación se presentarán los detalles más importantes del procedimiento de ensaye.

El ensaye Proctor se puede efectuar mediante los dos métodos siguientes:
Método A. Para los suelos que pasan por la malla No. 4. (4.75 mm). Este método puede ser utilizado cuando el 100% pasa por la malla No. 4.
Método B. Para los suelos que pasan la malla 3/4 (19 mm) y que parte del suelo sea retenido en la malla No. 4.

Estas pruebas determinan el contenido óptimo de humedad y la máxima densidad que podrá ser usado para especímenes de suelo-cemento de acuerdo a los métodos D559 y D560 ASTM.

APARATOS:

MOLDE. Un cilindro de metal con capacidad de $944 \pm 11 \text{ cm}^3$, con diámetro interno de 4.0 ± 0.016 un (101.6 ± 0.41 mm), debe estar provisto de un collar desmontable de aproximadamente 63.5 mm de altura, puede ser del tipo seccionado compuesta de dos semisecciones o una sección de tubo con un lado partido perpendicular a la circunferencia de la tubería y que puede ser asegurado en su lugar para formar un cilindro formado con las dimensiones descritas arriba. El molde y el collar deben de estar contruidos de forma que puedan ser sujetos firmemente a una base desarmable.

PISON MANUAL. Un pisón de metal operado manual teniendo un diámetro de 2 ± 0.005 y que pesa 5.5 ± 0.02 Lbs. El pisón debe ser equipado con una guía graduada para controlar la altura de caída hasta una caída libre de $12 \pm 1/16$ arriba de la elevación del suelo-cemento.

METODO A. Usando material de suelo que pasa la malla No. 4.

Preparando la prueba para usarla , desmenuzandole los agregados de suelo hasta que pase la malla y de forma que se evite reducir el tamaño de las partículas.

A continuación añadir al suelo la cantidad requerida de cemento de acuerdo a lo expuesto en C150 ó C595 mezcle el cemento y el suelo hasta que se logre un color uniforme.

Cuando sea necesario añada suficiente agua potable para llevar las muestras hasta aproximadamente 4 o 6 puntos porcentuales abajo del contenido óptimo de humedad y mezcle totalmente, con este contenido de humedad.

Cúbralo y déjelo reposar no menos de 5 minutos pero no mas de 10 minutos para ayudar a la dispersión de la humedad y permitir una mas completa absorción del suelo-cemento.

Después del período de observación, desmenuze totalmente la muestra sin reducir el tamaño de las partículas individuales hasta que pase la malla y entonces remezcle. Forme un espécimen compactando la mezcla de suelo en el molde, con el collar puesto, en tres camas iguales que dan una profundidad total compactada de 5". Compacte cada cama con 25 caídas del pisón dejándolo caer de 12" arriba del suelo-cemento. Los golpes deben ser distribuidos uniformemente sobre la superficie de la cama que se este compactando, el molde debe descansar sobre una base rígida y uniforme.

Después del compactado, quite el collar de extensión cuidadosamente y enrase en la parte superior del molde con una regla; pese y mida.

Quite el material del molde y desliselo verticalmente a través del centro. Tome una muestra representativa de más de 100 grs. y obtenga la humedad.

Añada otra cantidad de agua para aumentar la humedad en la mezcla de suelo-cemento para aumentar 1 o 2 puntos porcentuales y repita el procedimiento con la nueva humedad hasta que el peso del especimen sea igual o menor a el anterior.

El peso volumétrico húmedo se obtiene dividiendo el peso húmedo entre el volumen del molde.

El porcentaje de humedad se determina dividiendo la cantidad de agua en grs. contenida en el especimen entre su peso seco en grs.

El peso volumétrico seco es igual a el peso volumétrico húmedo entre 100 + el % de humedad.

EJEMPLO DE CALCULO.

DATOS:

Peso húmedo + cápsula = 159.8 grs.

Peso de cápsula = 33.4 grs.

Peso seco + cápsula = 144.6 grs.

Peso molde = 1967.3 grs.

Volumen del molde = 942.8 cm³.

Peso húmedo especimen + molde = 3445 grs.

Peso húmedo.-

peso húmedo = (peso húmedo + cápsula) - peso de cápsula.

peso húmedo = 159.8 grs - 33.4 grs.

peso húmedo = 126.4 grs.

Peso volumétrico húmedo .-

P.V.H. = Peso húmedo especimen / volumen del molde.

P.V.H. = 1477.7 grs / 945 cm³

P.V.H. = 1563.70 kg/mts³.

AGUA.-

agua = (peso húmedo + cápsula) - (peso seco + cápsula)

agua = 159.8 grs. - 144.6 grs.

agua = 15.2 grs.

Peso seco.-

peso seco = (peso seco + cápsula) - (peso de la cápsula).

peso seco = 144.6 grs. - 33.4 grs.

peso seco = 111.2 grs.

Porcentaje de humedad .-

% de humedad = (Agua en gramos / Peso seco en gramos)x100

% de humedad = (15.2 / 111.2) x 100.

% de humedad = 13.66 %.

Peso volumétrico seco.-

P.V.S. = (Peso volumétrico húmedo / 100+ % de Humedad)

P.V.S. = (1563.70 kgs/mt³ / 100 + 13.66).

P.V.S. = 1376 kgs/mt³.

3.3 Resultados

En las tablas siguientes se hace el cálculo de el Peso Volumétrico Seco para las diferentes cantidades de agua, con el fin de encontrar el PVS máximo y la humedad óptima. Esto se hace para cada consumo de cemento y cada tipo de suelo.

BASE DE DATOS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD OPTIMA DEL SUELO-CEMENTO, NORMA D558-89 ASTM.

CON SUELO DE APODACA N. L.

HUMEDAD OPTIMA DEL SUELO = 18 %.

DETERMINACIONES PARA EL 2.5 % DE CEMENTO, SUELO APODACA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 360 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
N	33.4	159.8	144.6	15.2	111.2	13.7			
I	32.1	171.5	154.8	16.7	122.7	13.6			
K	19.2	104.7	95.2	9.5	76.0	12.5			
PROMEDIO						13.6	3445	1568	1379.548038

SEGUNDA DETERMINACION PARA 420 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
M	33.5	165.0	145.9	19.1	112.4	17.0			
M14	31.7	166.8	147.5	19.3	115.8	16.7			
M67	21.0	100.7	89.9	10.8	68.9	15.7			
PROMEDIO						16.4	3566	1696	1456.620969

TERCERA DETERMINACION PARA 480 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
A	22.0	102.2	89.9	12.3	67.9	18.1			
B	14.6	107.4	93.5	13.9	78.9	17.6			
C	17.8	92.4	81.5	10.9	63.7	17.1			
PROMEDIO						17.6	3621	1754	1491.74385

CUARTA DETERMINACION PARA 540 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
D	16.2	110.7	95.7	15.0	79.5	18.9			
E	17.1	103.4	89.6	13.8	72.5	19.0			
F	19.2	98.8	85.6	13.2	66.4	19.9			
PROMEDIO						19.3	3575	1706	1430.184234

DETERMINACIONES PARA EL 5.0 % DE CEMENTO, SUELO APODACA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 360 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
I	32.1	213.5	192.3	21.2	160.2	13.2			
J	33.4	224.8	202.0	22.8	168.6	13.5			
K	19.5	116.9	105.7	11.2	86.2	13.0			
PROMEDIO						13.3	3588	1719	1518.260177

SEGUNDA DETERMINACION PARA 420 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
L	19.6	112.4	100.5	11.9	80.9	14.7			
M	19.7	95.7	86.0	9.7	66.3	14.6			
N	19.2	116.7	104.4	12.3	85.2	14.4			
PROMEDIO						14.6	3592	1724	1504.471783

TERCERA DETERMINACION PARA 480 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
O	19.3	112.4	99.0	13.4	79.7	16.8			
P	19.8	107.5	94.8	12.7	75.0	16.9			
Q	19.7	106.4	94.1	12.3	74.4	16.5			
PROMEDIO						16.8	3677	1814	1553.486934

CUARTA DETERMINACION PARA 540 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
R	19.9	103.2	90.9	12.3	71.0	17.3			
S	19.8	114.0	98.9	15.1	79.1	19.1			
T	19.7	99.0	86.3	12.7	66.6	19.1			
PROMEDIO						19.1	3712	1851	1554.41115

QUINTA DETERMINACION PARA 600 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
V	19.3	135.9	111.9	24.0	92.6	25.9			
W	19.5	119.7	99.6	20.1	80.1	25.1			
X	19.6	140.7	115.6	25.1	96.0	26.1			
PROMEDIO						25.7	3604	1736	1381.167942

DETERMINACIONES PARA EL 7.5 % DE CEMENTO, SUELO APODACA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 360 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
Y	20.5	101.2	92.5	8.7	72.0	12.1			
Z	15.8	100.9	91.6	9.3	75.8	12.2			
A	17.8	98.4	88.6	9.8	70.8	13.8			
PROMEDIO						12.1	3468	1592	1419.760569

SEGUNDA DETERMINACION PARA 420 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
B	15.9	115.3	102.7	12.6	86.8	14.5			
C	15.7	115.5	102.1	13.4	86.4	15.5			
D	16.2	107.8	96.3	11.5	80.1	14.4			
PROMEDIO						14.4	3635	1769	1546.089968

TERCERA DETERMINACION PARA 480 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
E	19.6	118.1	103.7	14.4	84.1	17.1			
F	19.9	108.6	96.1	12.5	76.2	16.4			
G	18.5	112.0	98.6	13.4	80.1	16.7			
PROMEDIO						16.8	3661	1797	1539.055602

CUARTA DETERMINACION PARA 540 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
H	19.4	111.6	97.8	13.8	78.4	17.6			
I	18.7	98.6	85.8	12.8	67.1	19.1			
J	19.6	102.1	89.3	12.8	69.7	18.4			
PROMEDIO						18.3	3730	1870	1580.273615

QUINTA DETERMINACION PARA 600 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
K	15.8	104.8	90.5	14.3	74.7	19.1			
L	16.7	109.8	94.1	15.7	77.4	20.3			
PROMEDIO						19.7	3728	1868	1560.354544

SEXTA DETERMINACION PARA 660 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
M	16.7	126.1	106.2	19.9	89.5	22.2			
N	19.9	123.3	104.9	18.4	85.0	21.6			
PROMEDIO						21.9	3703	1841	1510.105895

DETERMINACIONES PARA EL 10.0% DE CEMENTO, SUELO APODACA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 360 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
O	19.8	127.7	115.1	12.6	95.3	13.2			
P	18.7	92.6	84.5	8.1	65.8	12.3			
Q	19.9	108.7	98.9	9.8	79.0	12.4			
PROMEDIO						12.4	3592	1724	1534.097254

SEGUNDA DETERMINACION PARA 420 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
R	15.8	104.8	94.0	10.8	78.2	13.8			
S	15.7	112.7	100.8	11.9	85.1	14.0			
T	19.6	123.0	109.8	13.2	90.2	14.6			
PROMEDIO						14.1	3651	1786	1564.941003

TERCERA DETERMINACION PARA 480 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
W	19.8	114.9	101.0	13.9	81.2	17.1			
X	19.4	125.9	110.6	15.3	91.2	16.8			
Y	16.4	118.4	103.7	14.7	87.3	16.8			
PROMEDIO						16.9	3705	1844	1576.889297

CUARTA DETERMINACION PARA 540 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
A	19.7	116.9	101.8	15.1	82.1	18.4			
B	19.5	117.0	101.5	15.5	82.0	18.9			
C	19.6	110.0	96.6	13.4	77.0	17.4			
PROMEDIO						18.6	3732	1872	1577.986286

QUINTA DETERMINACION PARA 600 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
D	19.3	116.6	100.5	16.1	81.2	19.8			
E	18.8	98.4	84.7	13.7	65.9	20.8			
F	19.7	121.6	104.8	16.8	85.1	19.7			
PROMEDIO						19.8	3695	1833	1530.20327

DETERMINACIONES PARA EL 12.5% DE CEMENTO, SUELO APODACA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 360 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
G	19.5	95.1	86.3	8.8	66.8	13.2			
H	16.3	101.7	92.3	9.4	76.0	12.4			
I	19.8	111.7	100.7	11.0	80.9	13.6			
PROMEDIO						13.4	3616	1749	1542.648734

SEGUNDA DETERMINACION PARA 420 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
J		111.1	98.9	12.2	98.9	12.3			
K		109.1	97.1	12.0	97.1	12.4			
L	15.8	111.0	98.9	12.1	83.1	14.6			
PROMEDIO						12.3	3641	1776	1580.51243

TERCERA DETERMINACION PARA 540 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
M	19.4	115.6	100.3	15.3	80.9	18.9			
N	19.6	103.1	90.2	12.9	70.6	18.3			
O	18.8	104.1	90.9	13.2	72.1	18.3			
PROMEDIO						18.5	3772	1915	1615.765545

CUARTA DETERMINACION PARA 600 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
P	18.7	89.5	77.4	12.1	58.7	20.6			
Q	19.9	107.9	92.9	15.0	73.0	20.5			
R	19.3	107.1	92.2	14.9	72.9	20.4			
PROMEDIO						20.5	3805	1950	1617.517498

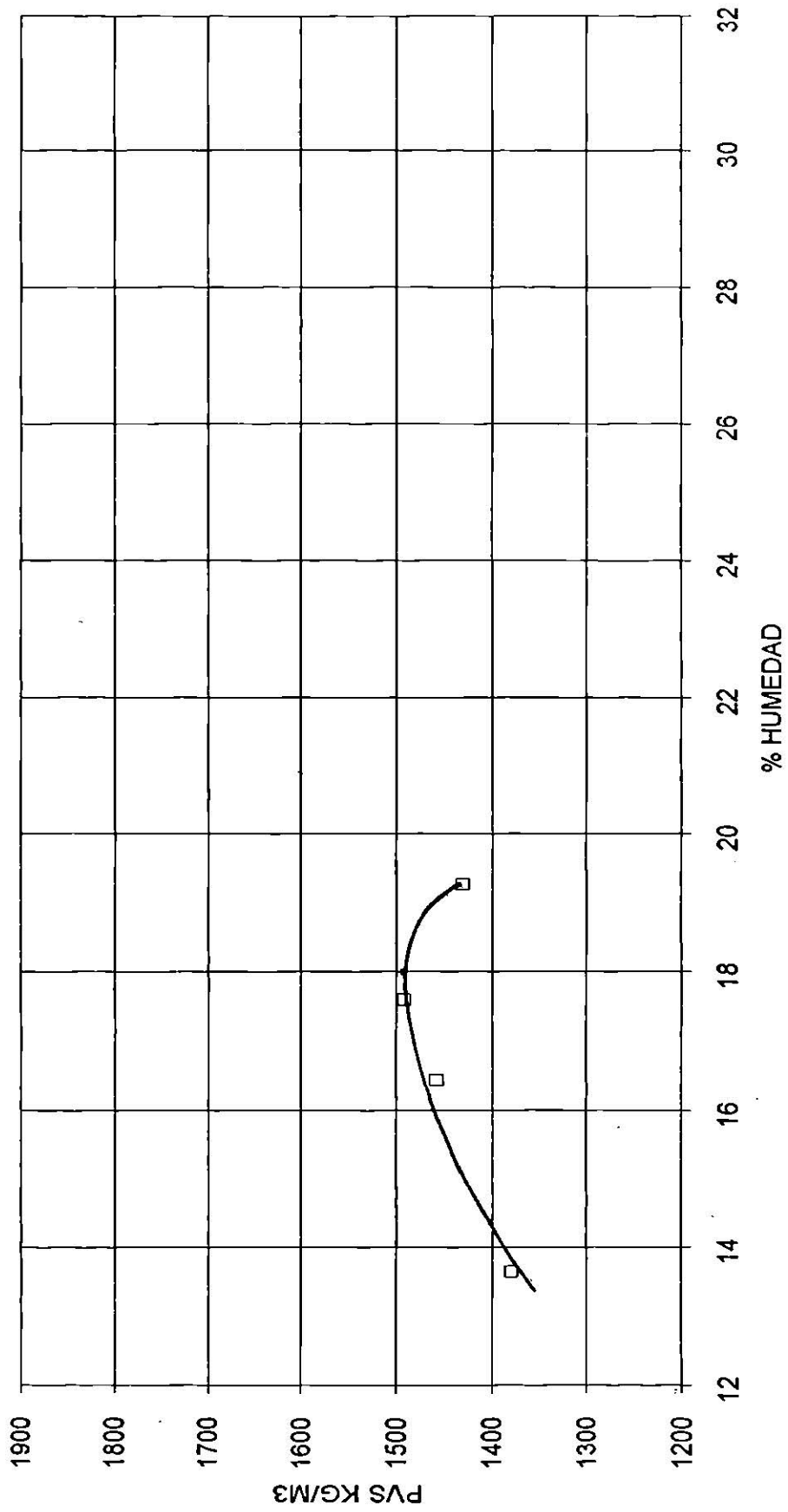
QUINTA DETERMINACION PARA 660 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
S	20.0	113.8	99.2	14.6	79.2	18.4			
T	19.7	118.7	103.0	15.7	83.3	18.8			
U	19.6	108.7	93.7	15.0	74.1	20.2			
PROMEDIO						18.6	3794	1938	1633.484214

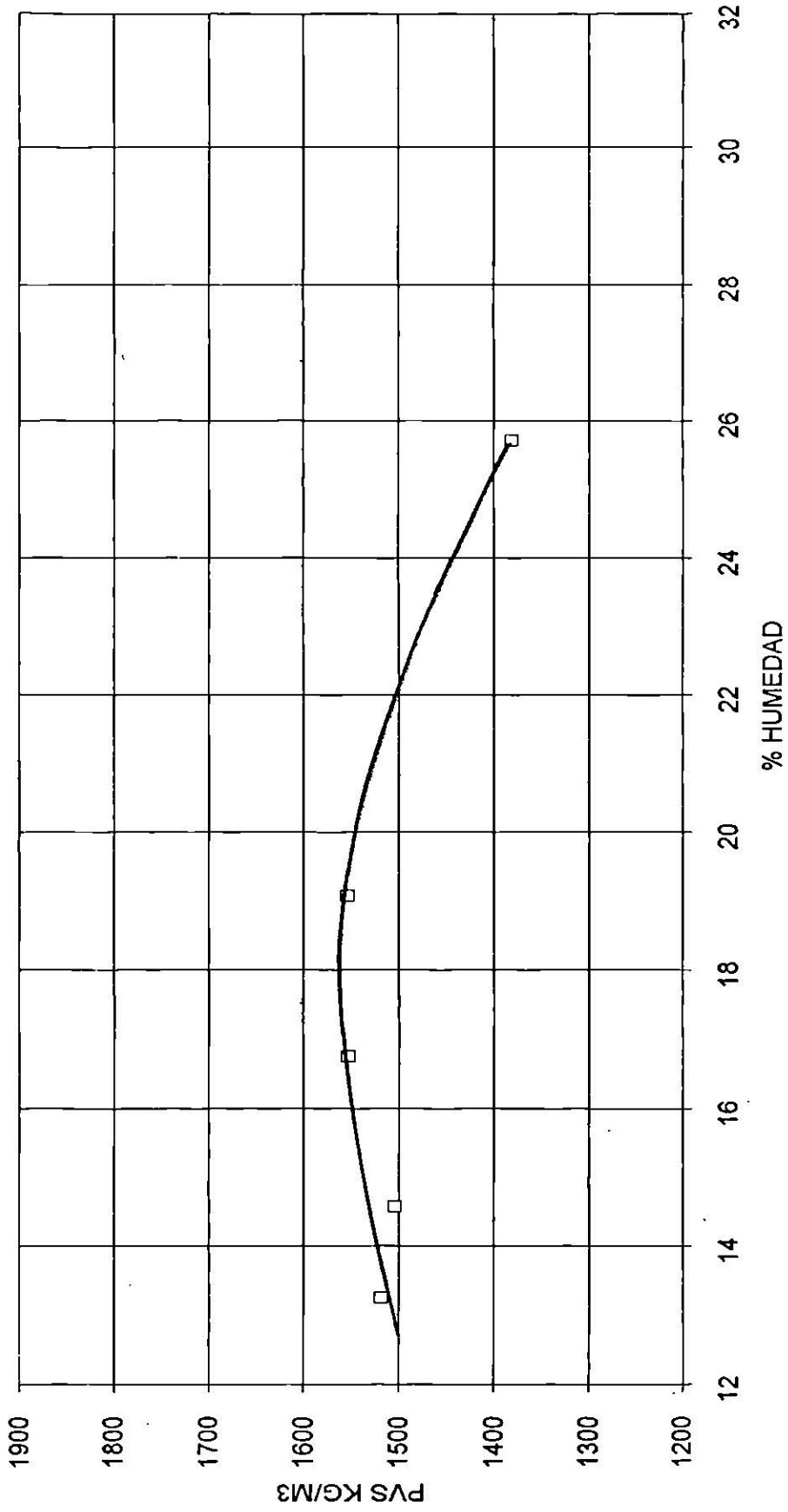
SEXTA DETERMINACION PARA 720 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
W	16.7	147.0	121.7	25.3	105.0	24.1			
V	18.5	136.1	113.2	22.9	94.7	24.2			
X	19.7	138.1	115.1	23.0	95.4	24.1			
PROMEDIO						24.1	3757	1899	1529.643271

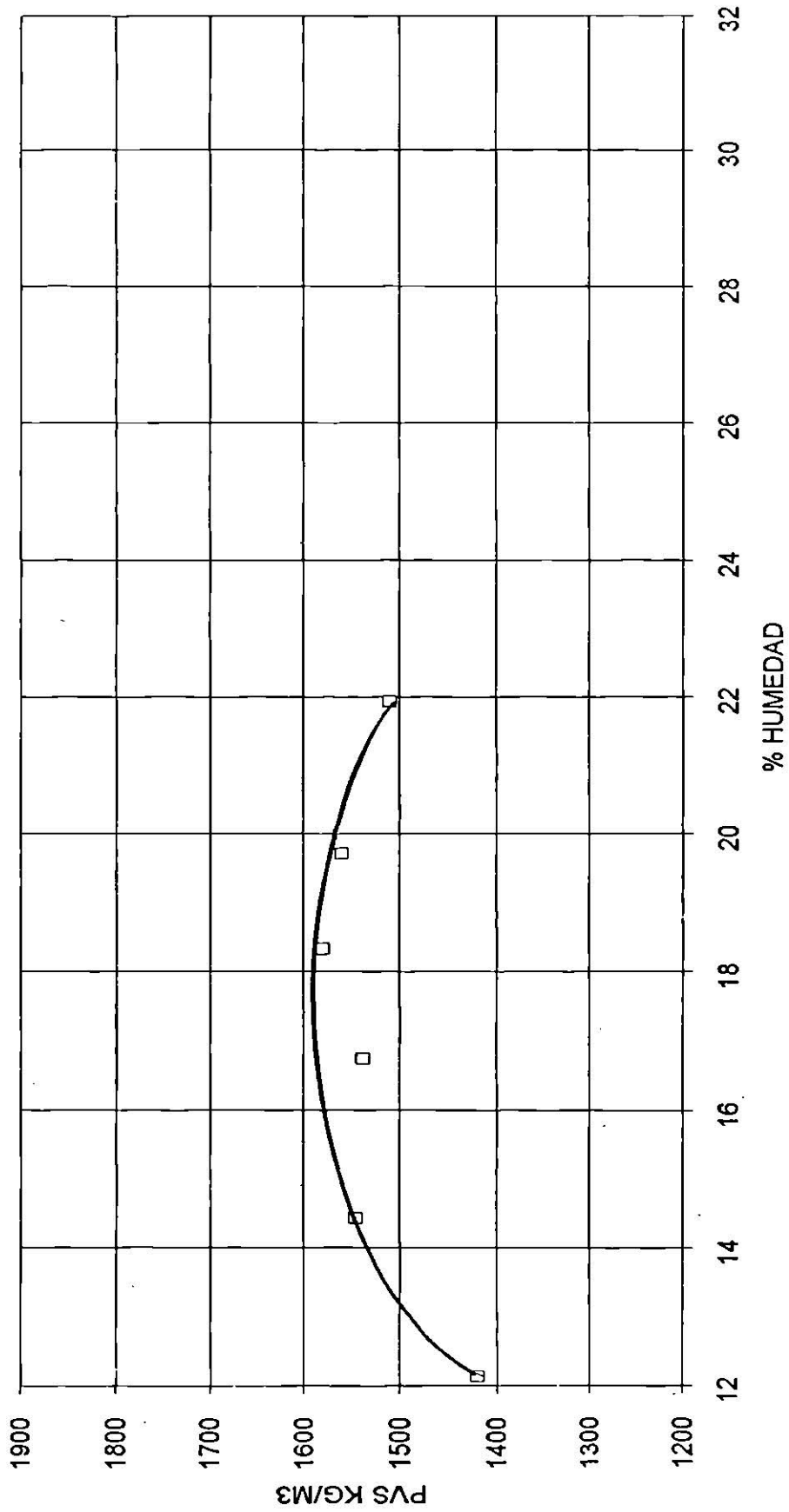
GRAFICA III-1 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C APODACA. 2.5% CEMENTO



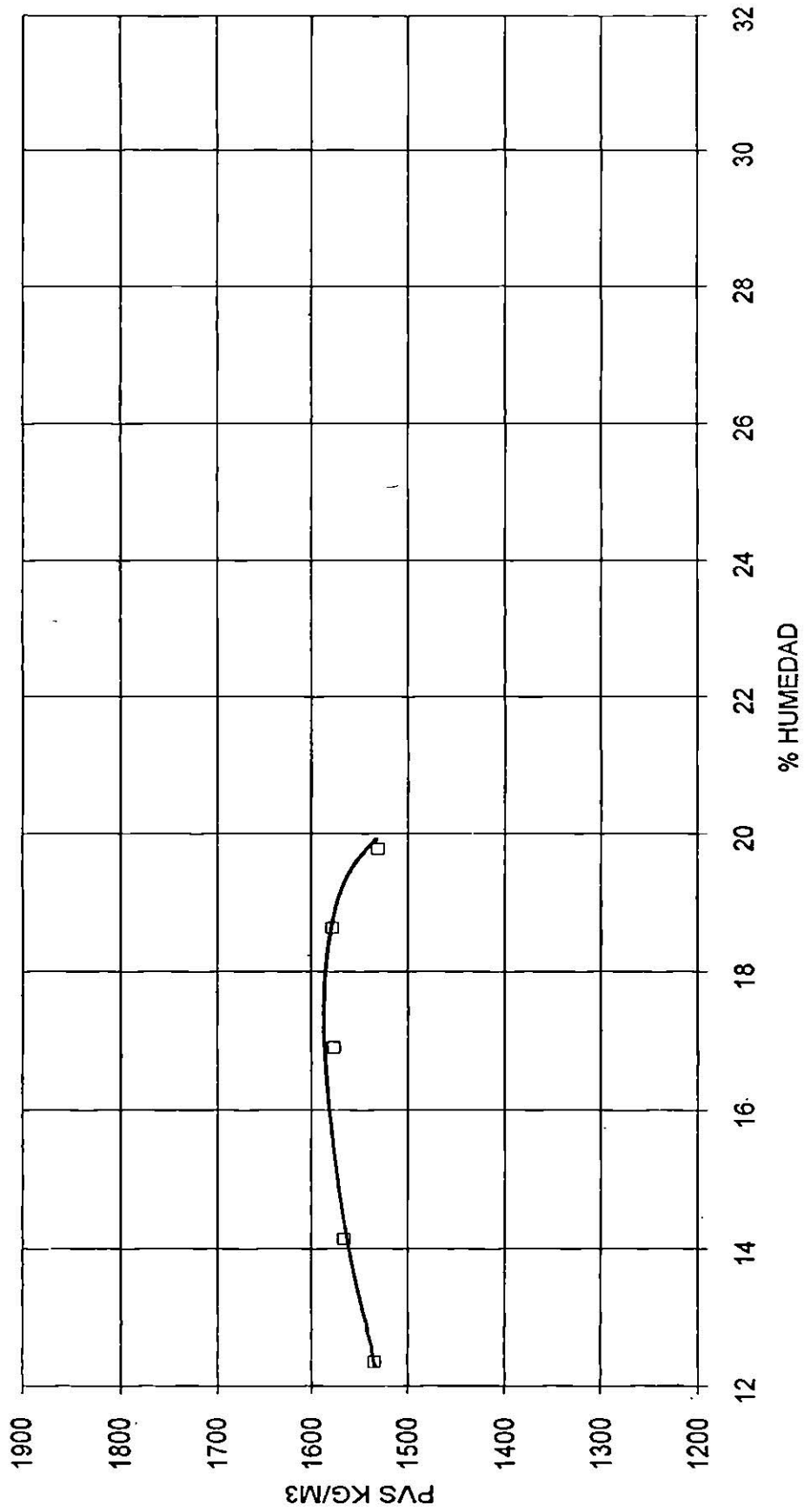
GRAFICA III-2 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE S-C APODACA. 5% CEMENTO



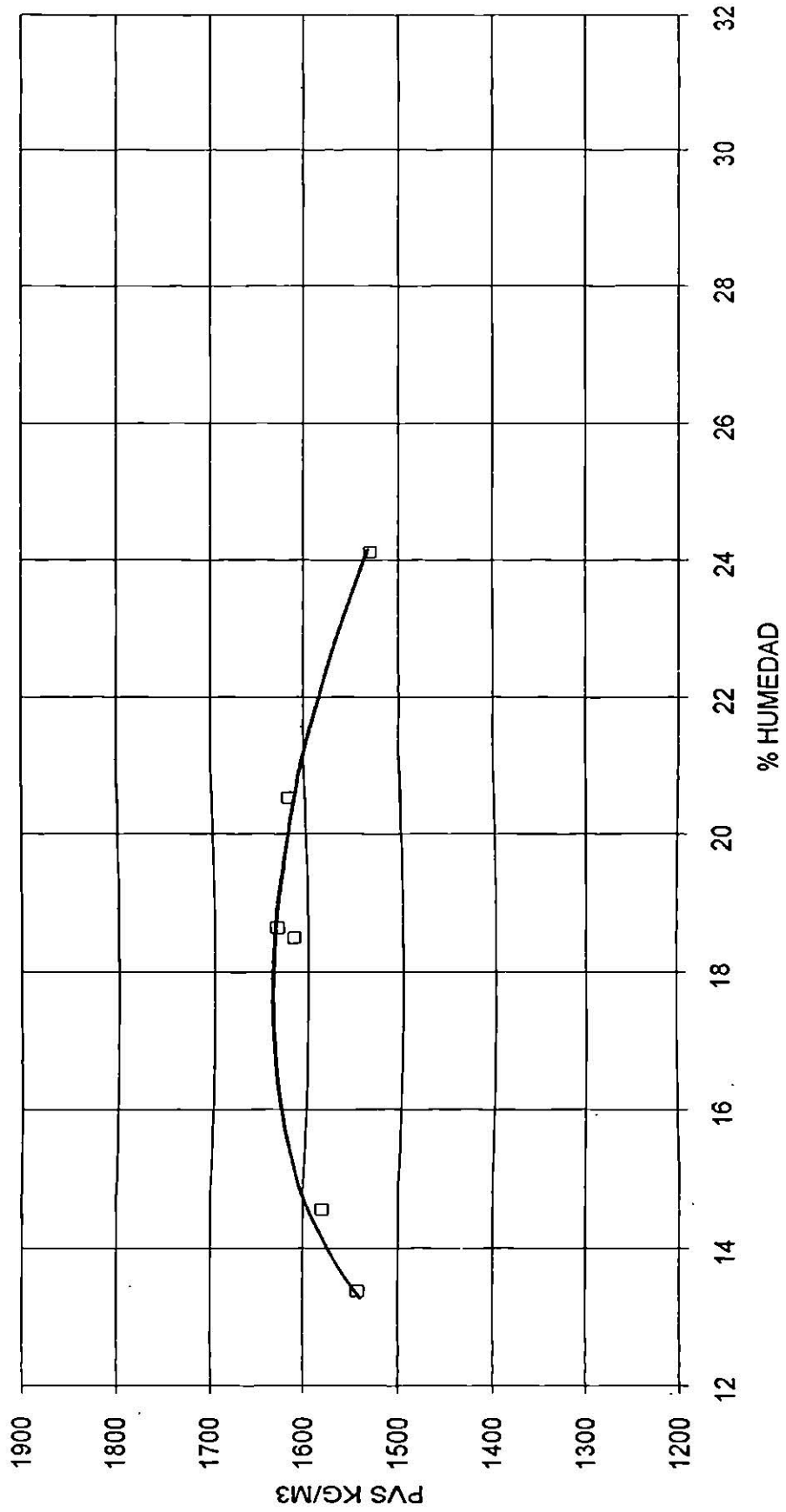
GRAFICA III-3 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C APODACA. 7.5% CEMENTO



GRAFICA III-4 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE S-C APODACA. 10% CEMENTO



GRAFICA III-5 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C APODACA. 12.5% CEMENTO



**ASE DE DATOS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD OPTIMA DEL
UELO-CEMENTO, NORMA D558-89 ASTM.
ON SUELO DE VILLA DE JUAREZ N. L.
UMEDAD OPTIMA DEL SUELO = 12.4 %.**

DETERMINACIONES PARA EL 2.5 % DE CEMENTO, SUELO VILLA JUAREZ.

PRIMERA DETERMINACION PARA 150 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
Y	19.8	115.5	109.4	6.1	89.6	6.8			
Z	19.6	113.9	107.8	6.1	88.2	6.9			
A	19.5	118.3	112.3	6.0	92.8	6.5			
PROMEDIO						6.7	3526	1654	1549.524682

SEGUNDA DETERMINACION PARA 210 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
B	19.3	119.4	111.1	8.3	91.8	9.0			
C	19.9	107.8	100.2	7.6	80.3	9.5			
D	19.6	115.7	107.4	8.3	87.8	9.5			
PROMEDIO						9.3	3651	1786	1633.980496

TERCERA DETERMINACION PARA 270 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
E	19.8	120.3	110.3	10.0	90.5	11.0			
F	17.1	119.4	109.5	9.9	92.4	10.7			
G	15.8	108.9	100.2	8.7	84.4	10.3			
PROMEDIO						10.7	3718	1857	1677.9736

CUARTA DETERMINACION PARA 330 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
H	19.7	112.1	102.1	10.0	82.4	12.1			
I	18.7	100.7	91.6	9.1	72.9	12.5			
J	18.5	104.3	94.9	9.4	76.4	12.3			
PROMEDIO						12.3	3863	2011	1790.901224

DETERMINACIONES PARA EL 5.6 % DE CEMENTO, SUELO VILLA JUAREZ.

QUINTA DETERMINACION PARA 370 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
K	19.2	114.7	102.6	12.1	83.4	14.5			
L	18.8	109.4	99.8	9.6	81.0	11.9			
M	19.6	96.8	87.4	9.4	67.8	13.9			
PROMEDIO						14.2	3915	2066	1809.73008

SEXTA DETERMINACION PARA 430 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
N	16.2	92.5	82.1	10.4	65.9	15.8			
O	16.7	117.5	104.2	13.3	87.5	15.2			
P	15.9	129.0	113.3	15.7	97.4	16.1			
PROMEDIO						15.7	3929	2081	1798.79227

SEPTIMA DETERMINACION PARA 520 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
R	16.4	108.8	94.7	14.1	78.3	18.0			
S	15.6	120.7	104.2	16.5	88.6	18.6			
T	21.7	102.6	90.5	12.1	68.8	17.6			
PROMEDIO						18.1	3844	1991	1686.451495

CUARTA DETERMINACION PARA 430 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
U	18.1	100.3	80.9	10.9	70.2	15.3			
V	19.3	121.5	105.7	13.1	85.9	17.4			
W	19.1	97.4	92.9	11.2	72.3	15.3			
PROMEDIO						15.3	3937	2090	1809.568736

QUINTA DETERMINACION PARA 430 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
X	19.3	135.1	117.1	18.1	97.8	18.3			
Y	19.3	141.3	102.1	18.3	87.1	19.3			
Z	19.4	124.9	113.3	19.3	97.9	19.7			
PROMEDIO						19.3	3887	2015	1686.831037

DETERMINACIONES PARA EL 5.0 % DE CEMENTO, SUELO VILLA JUAREZ.

PRIMERA DETERMINACION PARA 150 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
U	32.1	216.5	203.9	12.6	171.8	7.3			
V	33.4	234.3	221.8	12.5	188.4	6.6			
W	31.5	231.5	218.1	13.4	186.6	7.2			
PROMEDIO						7.0	3644	1779	1661.847023

SEGUNDA DETERMINACION PARA 270 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
A	21.5	104.3	96.8	7.5	75.3	10.0			
B	20.5	108.5	100.5	8.0	80.0	10.0			
C	21.4	92.7	85.6	7.1	64.2	11.1			
PROMEDIO						10.0	3723	1863	1693.629358

TERCERA DETERMINACION PARA 370 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
D	21.4	91.5	83.3	8.2	61.9	13.2			
E	22.1	100.4	91.5	8.9	69.4	12.8			
F	19.4	98.6	89.2	9.4	69.8	13.5			
PROMEDIO						13.2	3882	2031	1794.786636

CUARTA DETERMINACION PARA 430 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
G	19.8	100.9	90.0	10.9	70.2	15.5			
H	19.6	121.6	106.5	15.1	86.9	17.4			
I	19.5	103.2	92.0	11.2	72.5	15.4			
PROMEDIO						15.5	3937	2090	1809.568756

QUINTA DETERMINACION PARA 520 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
J	19.3	135.2	117.1	18.1	97.8	18.5			
K	19.9	123.9	107.1	16.8	87.2	19.3			
L	19.6	136.8	117.5	19.3	97.9	19.7			
PROMEDIO						19.5	3867	2015	1686.831057

DETERMINACIONES PARA EL 7.5 % DE CEMENTO, SUELO VILLA JUAREZ.

PRIMERA DETERMINACION PARA 150 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
M	19.8	117.8	110.8	7.0	91.0	7.7			
N	17.1	134.9	126.3	8.6	109.2	7.9			
O	15.8	121.7	114.1	7.6	98.3	7.7			
PROMEDIO						7.8	3611	1744	1618.254234

SEGUNDA DETERMINACION PARA 210 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
P	19.7	126.3	117.3	9.0	97.6	9.2			
Q	18.7	124.5	115.6	8.9	96.9	9.2			
R	18.5	116.4	108.2	8.2	89.7	9.1			
PROMEDIO						9.2	3640	1775	1625.386867

TERCERA DETERMINACION PARA 270 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
S	19.2	81.1	74.9	6.2	55.7	11.1			
T	18.8	123.9	113.3	10.6	94.5	11.2			
U	19.6	115.4	105.7	9.7	86.1	11.3			
PROMEDIO						11.2	3700	1838	1653.104727

CUARTA DETERMINACION PARA 370 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
W	16.2	115.9	103.8	12.1	87.6	13.8			
X	16.7	116.2	104.3	11.9	87.6	13.6			
Y	15.9	102.8	92.7	10.1	76.8	13.2			
PROMEDIO						13.5	3849	1996	1758.72542

QUINTA DETERMINACION PARA 430 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
A	19.8	117.3	104.4	12.9	84.6	15.2			
B	19.6	116.3	103.6	12.7	84.0	15.1			
C	19.5	119.4	106.2	13.2	86.7	15.2			
PROMEDIO						15.2	3913	2064	1792.020115

SEXTA DETERMINACION PARA 520 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
D	19.3	160.5	138.3	22.2	119.0	18.7			
E	19.9	123.3	107.2	16.1	87.3	18.4			
F	19.6	127.4	110.4	17.0	90.8	18.7			
PROMEDIO						18.6	3881	2030	1711.870655

SEPTIMA DETERMINACION PARA 430 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
	19.9	132.5	118.2	15.3	98.3	14.5			
	19.3	115.4	102.2	12.6	83.5	15.1			
	19.6	113.5	101.7	11.8	82.1	14.4			
PROMEDIO						14.5	3905	2056	1796.834096

TERCERA DETERMINACION PARA 520 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
A	19.8	104.2	92.4	11.8	72.6	16.3			
B	17.1	119.3	104.3	15.0	87.2	17.2			
C	15.8	113.7	100.5	15.2	84.7	17.9			
PROMEDIO						17.1	4030	2188	1619.324674

DETERMINACIONES PARA EL 10.0% DE CEMENTO, SUELO VILLA JUAREZ.

PRIMERA DETERMINACION PARA 370 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
G	19.8	115.0	103.7	11.3	83.9	13.5			
H	19.6	105.3	96.0	9.3	76.4	12.2			
I	19.5	127.5	115.3	12.2	95.8	12.7			
PROMEDIO						12.8	3786	1929	1710.845359

SEGUNDA DETERMINACION PARA 430 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
J	19.9	132.5	118.2	14.3	98.3	14.5			
K	19.3	115.4	102.8	12.6	83.5	15.1			
L	19.6	113.5	101.7	11.8	82.1	14.4			
PROMEDIO						14.5	3905	2056	1796.034096

TERCERA DETERMINACION PARA 520 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
M	19.8	104.2	92.4	11.8	72.6	16.3			
N	17.1	119.3	104.3	15.0	87.2	17.2			
O	15.8	115.7	100.5	15.2	84.7	17.9			
PROMEDIO						35.1	4030	2188	1619.324674

DETERMINACIONES PARA EL 12.5% DE CEMENTO, SUELO VILLA JUAREZ.

PRIMERA DETERMINACION PARA 370 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
P	19.7	118.1	107.1	11.0	87.4	12.6			
Q	18.5	96.2	87.4	8.8	68.9	12.8			
R	18.7	102.6	93.6	9.0	74.9	12.0			
PROMEDIO						12.5	3705	1844	1639.446017

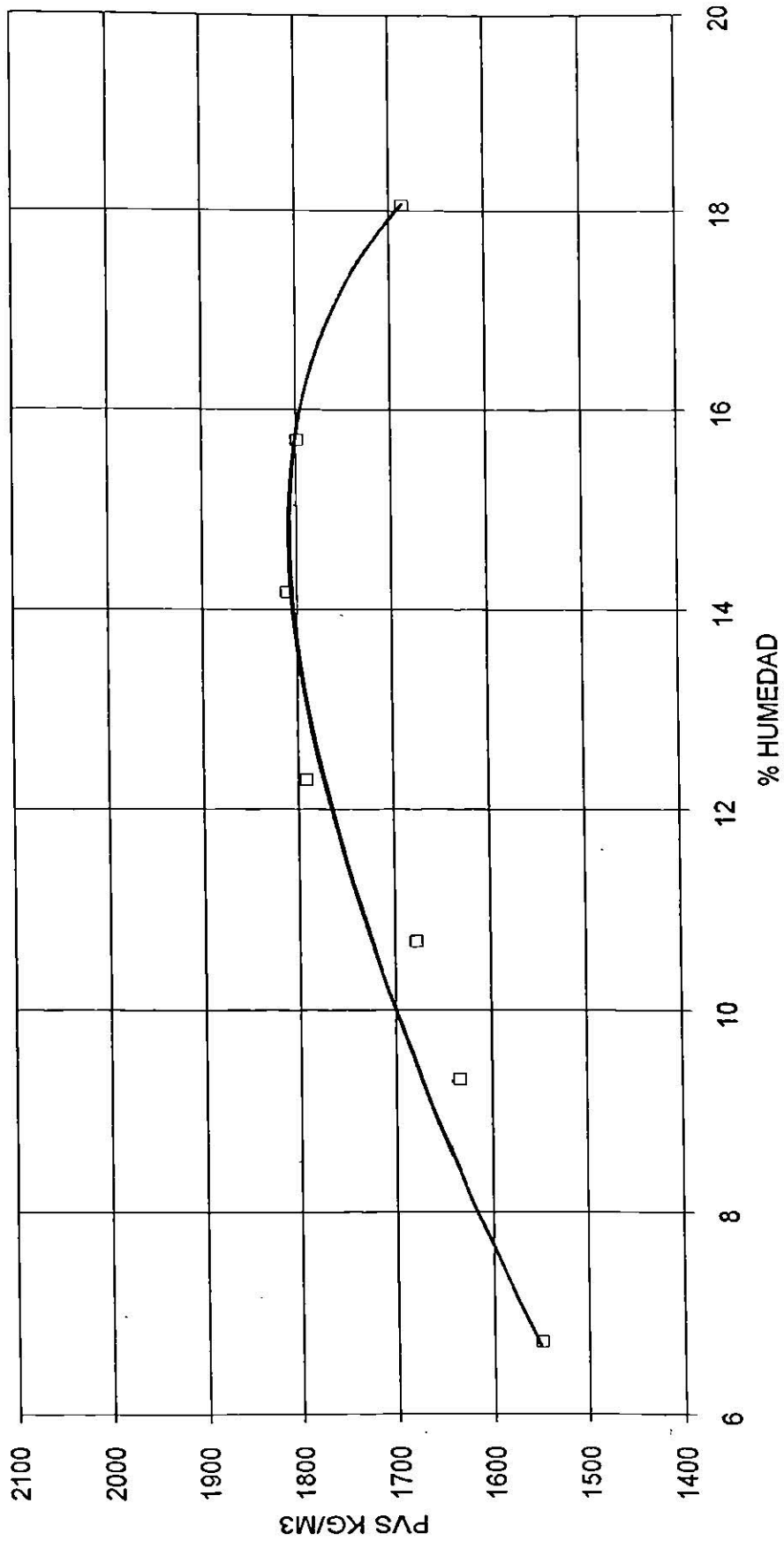
SEGUNDA DETERMINACION PARA 430 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
S	19.6	105.3	94.9	10.4	75.3	13.8			
T	19.2	92.7	83.6	9.1	64.4	14.1			
U	18.8	107.9	97.0	10.9	78.2	13.9			
PROMEDIO						14.0	3910	2061	1808.568986

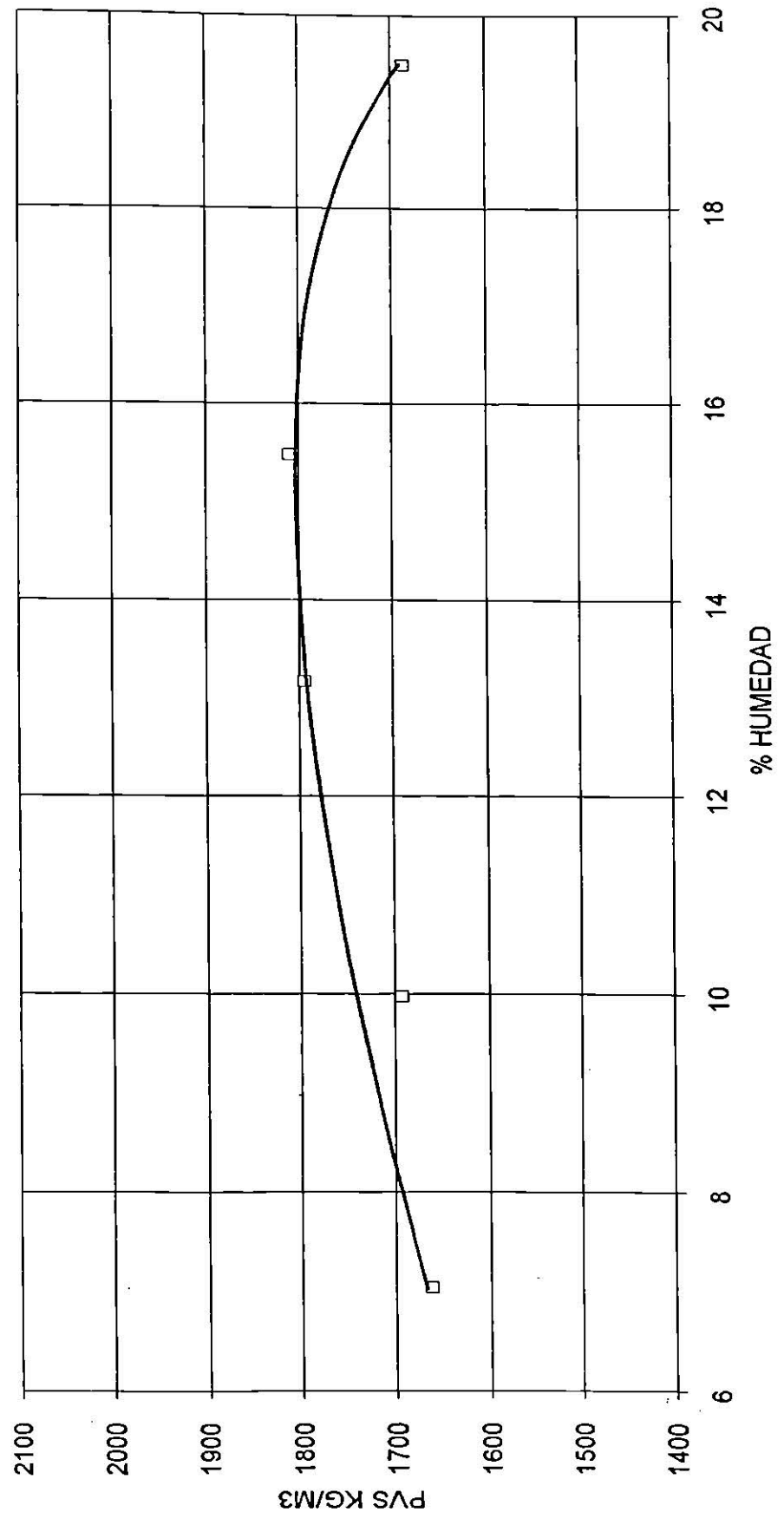
TERCERA DETERMINACION PARA 520 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
W	16.7	112.6	99.4	13.2	82.7	16.0			
X	15.9	117.7	102.8	14.9	86.9	17.1			
Y	16.2	91.6	80.6	11.0	64.4	17.1			
PROMEDIO						17.1	3860	2008	1714.626694

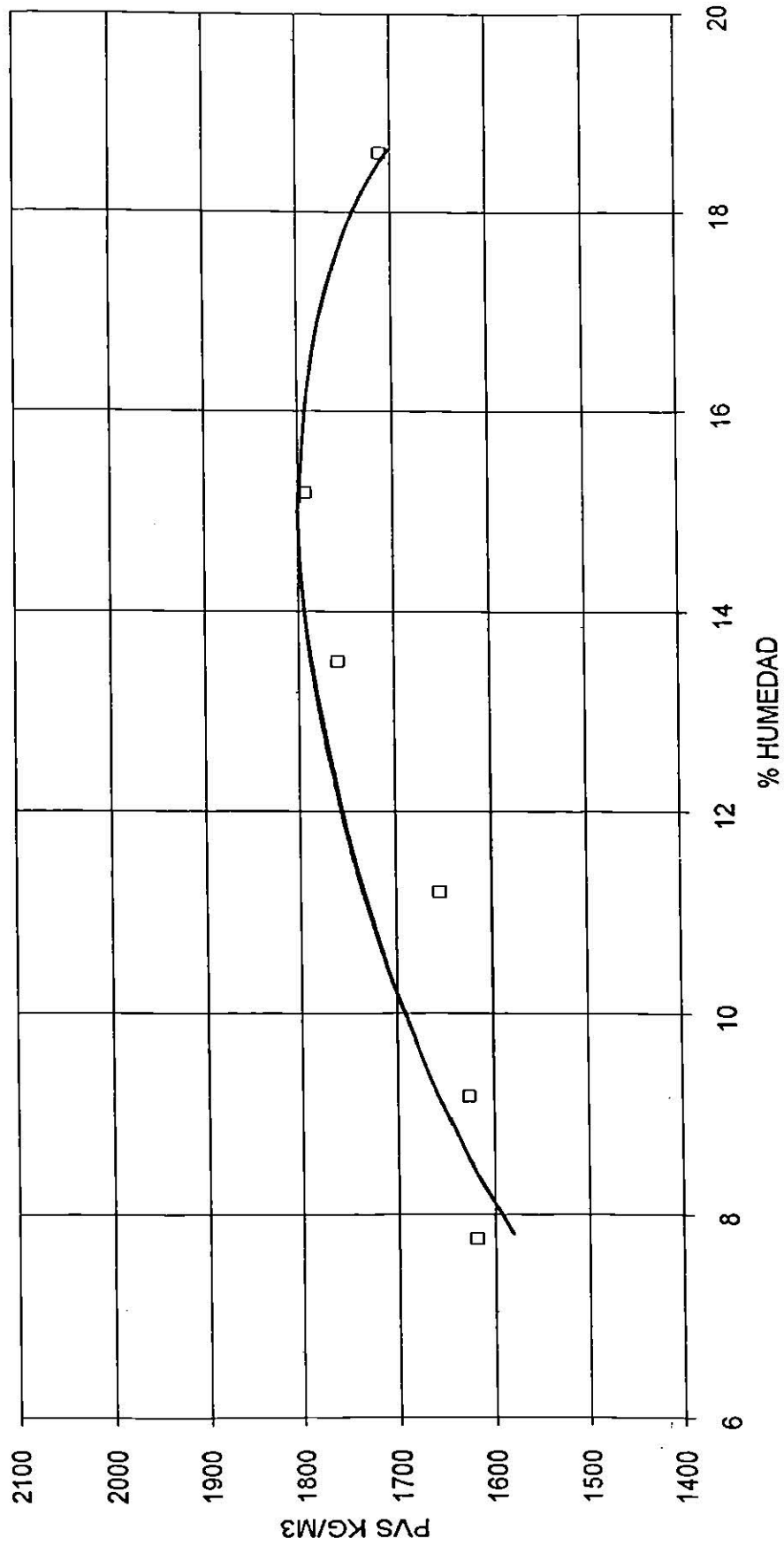
GRAFICA III-6 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C VILLA DE JUAREZ. 2.5% CEMENTO



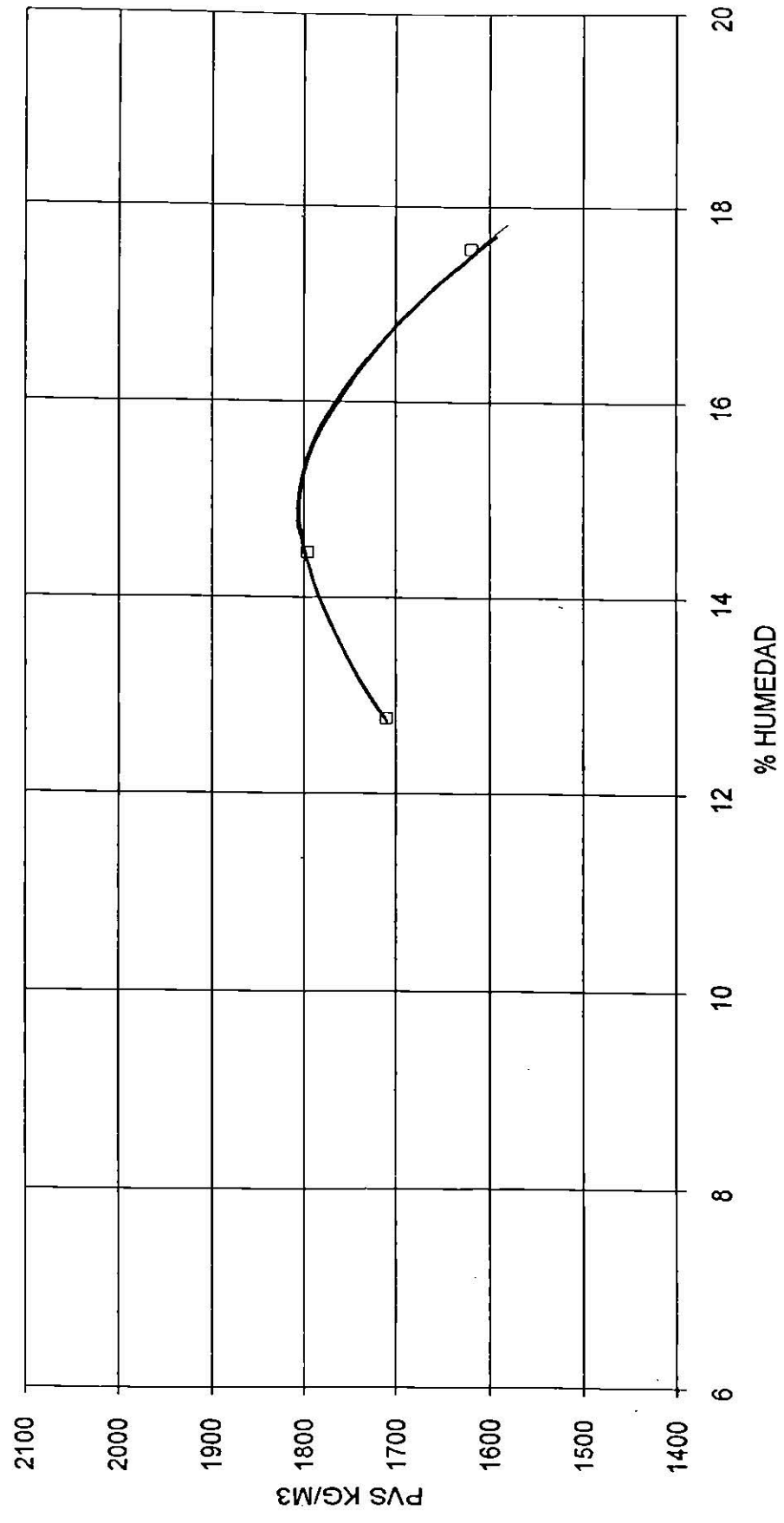
GRAFICA III-7 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C VILLA DE JUAREZ. 5% CEMENTO



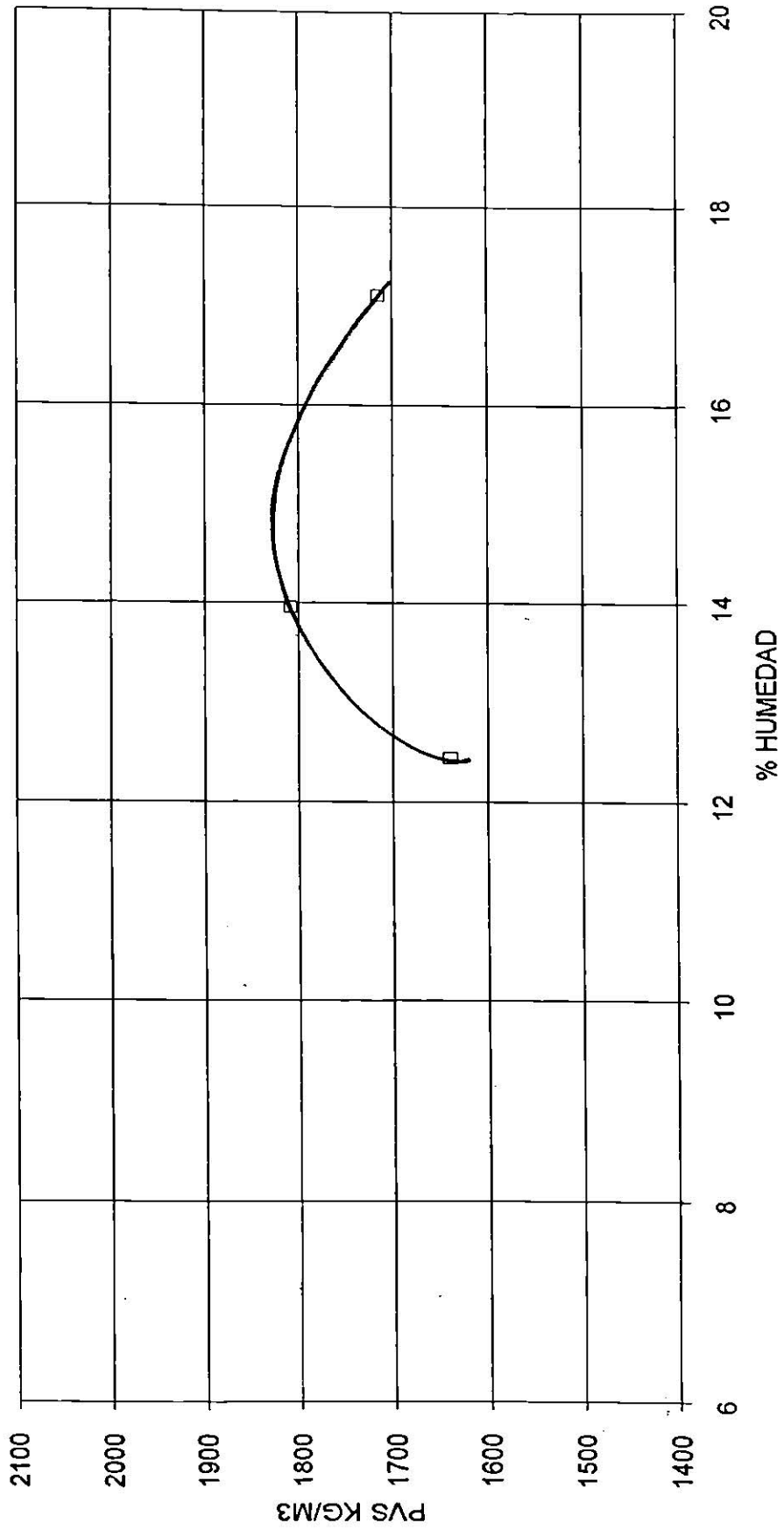
GRAFICA III-8 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C VILLA DE JUAREZ. 7.5% CEMENTO



GRAFICA III-9 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C VILLA DE JUAREZ. 10% CEMENTO



GRAFICA III-10 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C VILLA DE JUAREZ. 12.5% CEMENTO



**BASE DE DATOS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD OPTIMA DEL SUELO-CEMENTO, NORMA D558-89 ASTM.
CON SUELO DE VILLA DE GARCIA N. L.
HUMEDAD OPTIMA DEL SUELO = 14.2 %.**

DETERMINACIONES PARA EL 2.5 % DE CEMENTO, SUELO VILLA GARCIA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 330 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
D	19.8	112.6	101.8	10.8	82.0	13.2			
E	17.1	114.3	102.8	11.5	85.7	13.4			
F	15.8	109.5	99.6	9.9	83.8	11.8			
PROMEDIO						13.3	3595	1727	1524.27935

SEGUNDA DETERMINACION PARA 390 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
G	19.7	118.2	105.2	13.0	85.5	15.2			
H	18.5	112.0	99.9	12.1	81.4	14.9			
I	18.7	99.7	89.5	10.2	70.8	14.4			
PROMEDIO						14.8	3730	1870	1628.705794

TERCERA DETERMINACION PARA 450 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
J	19.6	71.8	64.3	7.5	44.7	16.8			
K	19.2	91.8	81.5	10.3	62.3	16.5			
L	18.8	88.2	78.1	10.1	59.3	17.0			
PROMEDIO						16.8	3810	1955	1674.19151

CUARTA DETERMINACION PARA 510 ML DE AGUA

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
M	19.6	83.4	72.9	10.5	53.3	19.7			
N	19.9	93.6	81.9	11.7	62.0	18.9			
O	19.3	99.7	86.7	13.0	67.4	19.3			
PROMEDIO						19.5	3867	2015	1686.831057

QUINTA DETERMINACION PARA 570 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECA	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
P	21.4	125.7	107.3	18.4	85.9	21.4			
Q	22.1	104.7	90.4	14.3	68.3	20.9			
PROMEDIO						21.2	3797	1941	1601.882731

DETERMINACIONES PARA EL 5.0 % DE CEMENTO, SUELO VILLA GARCIA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 420 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
R	15.9	93.0	82.8	10.2	66.9	15.2			
S	16.7	86.2	76.8	9.4	60.1	15.6			
T	16.2	81.9	73.2	8.7	57.0	15.3			
PROMEDIO						15.4	3753	1894	1641.949302

SEGUNDA DETERMINACION PARA 510 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
U	21.7	113.0	99.5	13.5	77.8	17.4			
W	20.5	105.4	92.5	12.9	72.0	17.9			
X	31.5	110.2	97.0	13.2	65.5	20.2			
PROMEDIO						17.6	3840	1987	1689.008725

TERCERA DETERMINACION PARA 570 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
A	21.4	122.1	105.5	16.6	84.1	19.7			
B	15.6	110.2	94.5	15.7	78.9	19.9			
C	16.4	112.0	96.3	15.7	79.9	19.6			
PROMEDIO						19.8	3821	1967	1642.13721

DETERMINACIONES PARA EL 7.5 % DE CEMENTO, SUELO VILLA GARCIA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 420 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
D	19.8	96.6	86.8	9.8	67.0	14.6			
E	19.6	128.4	114.5	13.9	94.9	14.6			
F	19.5	119.3	106.5	12.8	87.0	14.7			
PROMEDIO						14.7	3715	1854	1617.240492

SEGUNDA DETERMINACION PARA 510 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
G	17.1	113.8	100.0	13.8	82.9	16.6			
H	15.8	118.1	103.2	14.9	87.4	17.0			
I	19.7	115.9	102.2	13.7	82.5	16.6			
PROMEDIO						16.8	3834	1980	1696.142048

TERCERA DETERMINACION PARA 570 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
J	18.7	116.7	109.3	7.4	90.6	8.2			
K	19.8	119.3	103.4	15.9	83.6	19.0			
L	18.5	105.7	92.1	13.6	73.6	18.5			
PROMEDIO						18.7	3864	2012	1694.663123

CUARTA DETERMINACION PARA 630 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
M	18.8	111.7	95.7	16.0	76.9	20.8			
N	19.6	110.5	94.6	15.9	75.0	21.2			
O	19.2	109.6	94.0	15.6	74.8	20.9			
PROMEDIO						21.0	3807	1952	1613.700432

DETERMINACIONES PARA EL 10.0% DE CEMENTO, SUELO VILLA GARCIA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 420 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
P	19.9	109.7	99.1	10.6	79.2	13.4			
Q	19.3	126.0	112.7	13.3	93.4	14.2			
R	19.6	93.0	83.9	9.1	64.3	14.2			
PROMEDIO						14.2	3702	1840	1611.677285

SEGUNDA DETERMINACION PARA 510 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
S	16.2	90.9	80.1	10.8	63.9	16.9			
T	16.7	93.5	82.2	11.3	65.5	17.3			
U	15.9	109.9	97.0	12.9	81.1	15.9			
PROMEDIO						17.1	3805	1950	1665.370151

TERCERA DETERMINACION PARA 570 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
W	31.5	136.5	117.2	19.3	85.7	22.5			
X	20.5	126.8	109.5	17.3	89.0	19.4			
Y	21.7	118.8	102.9	15.9	81.2	19.6			
PROMEDIO						19.5	3865	2013	1684.773147

CUARTA DETERMINACION PARA 630 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
A	16.4	107.5	92.0	15.5	75.6	20.5			
B	15.6	111.4	95.3	16.1	79.7	20.2			
PROMEDIO						20.4	3817	1962	1630.56074

DETERMINACIONES PARA EL 12.5% DE CEMENTO, SUELO VILLA GARCIA.

PRIMERA DETERMINACION PARA 420 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
C	21.6	93.5	84.9	8.6	63.3	13.6			
D	21.4	94.7	85.7	9.0	64.3	14.0			
PROMEDIO						13.8	3610	1743	1531.701393

SEGUNDA DETERMINACION PARA 510 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
E	22.1	111.0	99.0	12.0	76.9	15.6			
F	19.4	106.0	94.2	11.8	74.8	15.8			
PROMEDIO						15.7	3765	1907	1648.696508

TERCERA DETERMINACION PARA 570 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
G	31.7	198.1	172.7	25.4	141.0	18.0			
H	33.6	182.2	159.5	22.7	125.9	18.0			
I	32.1	179.3	157.3	22.0	125.2	17.6			
PROMEDIO						17.9	3829	1975	1675.242465

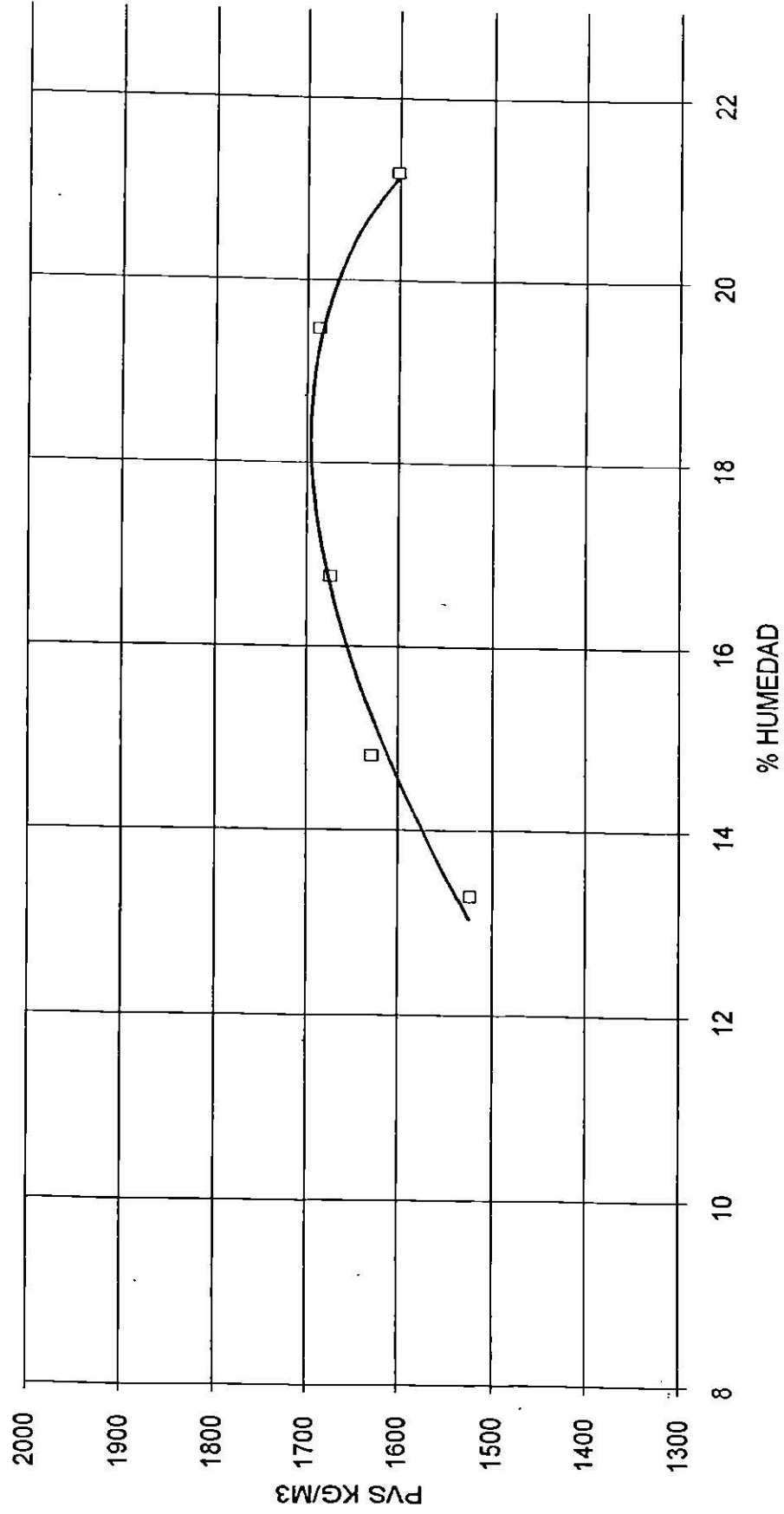
CUARTA DETERMINACION PARA 630 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
J	19.3	110.6	95.9	14.7	76.6	19.2			
K	19.5	123.7	107.1	16.6	87.6	18.9			
L	17.8	114.0	98.3	15.7	80.5	19.5			
PROMEDIO						19.2	3866	2014	1689.761621

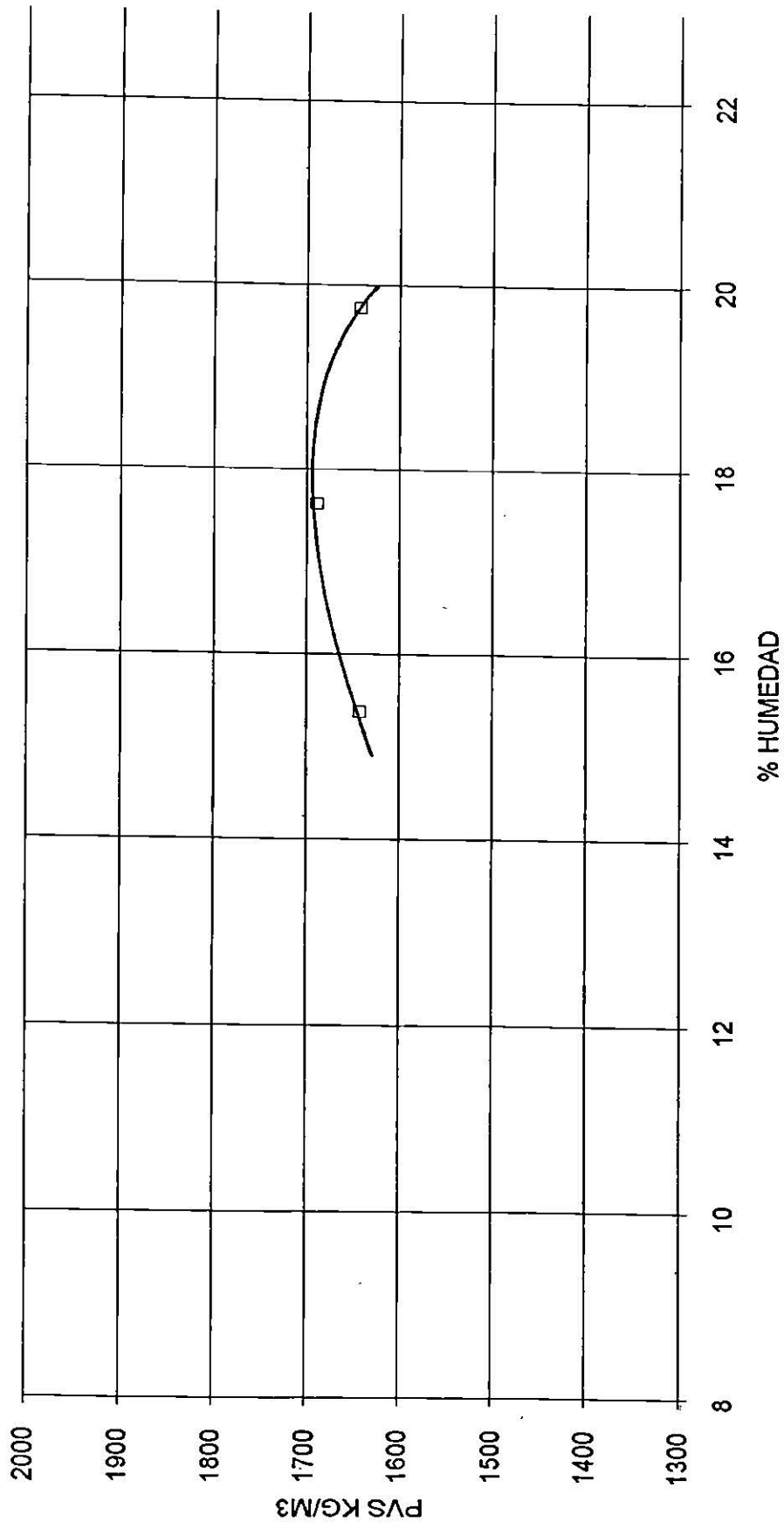
QUINTA DETERMINACION PARA 700 ML DE AGUA.

CAPSULA	P.CAPS	PH+CAP.	PS+CAP.	AGUA	P.SECCO	%HUM.	P.E+MOLD	P.V.H.	P.V.S.
	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	GRS.	%	GRS.	KG/M3	KG/M3
M	28.4	163.5	139.3	24.2	110.9	21.8			
N	28.3	142.9	122.1	20.8	93.8	22.2			
PROMEDIO						22.0	3800	1944	1593.855436

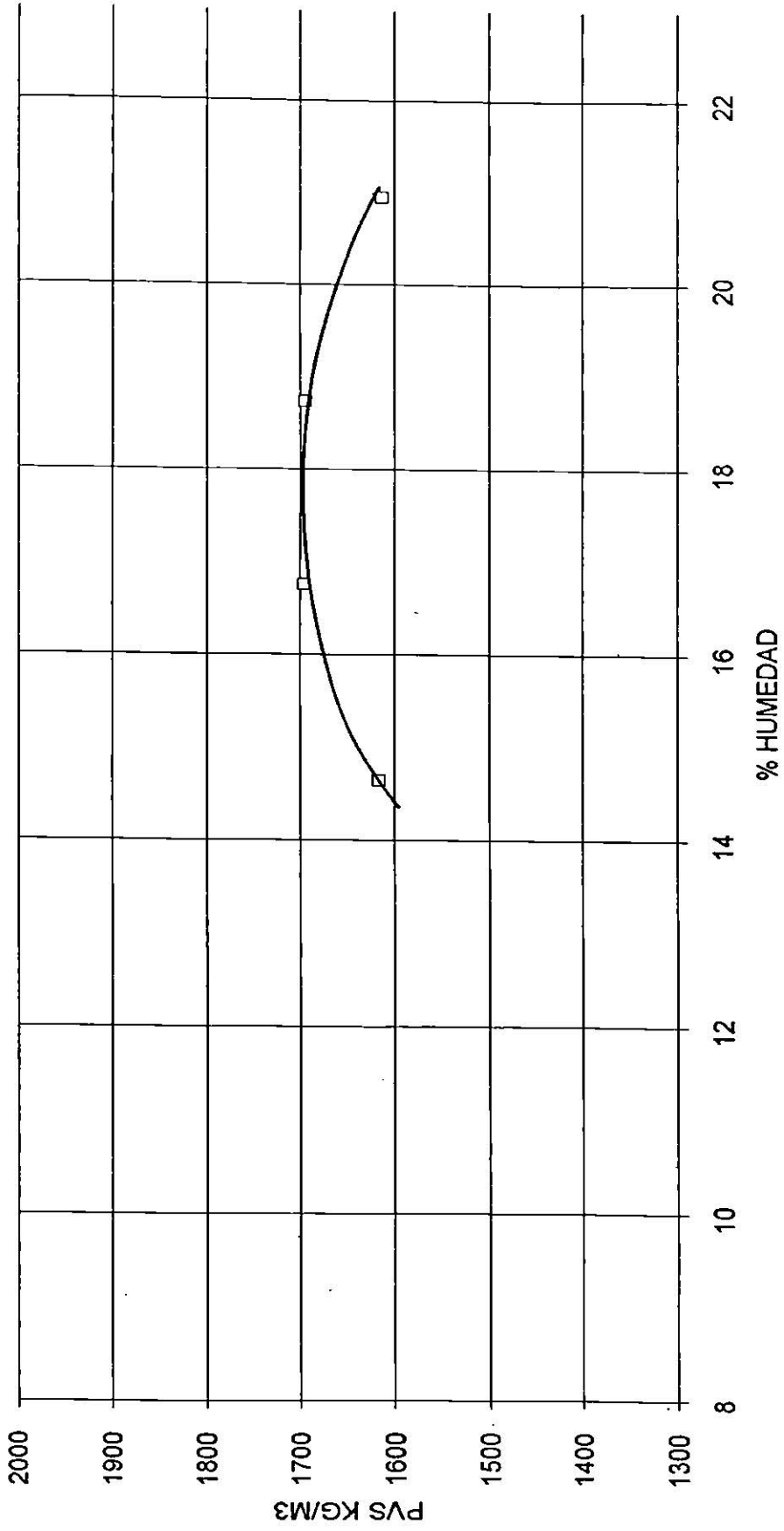
GRAFICA III-11 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C VILLA DE GARCIA. 2.5% CEMENTO



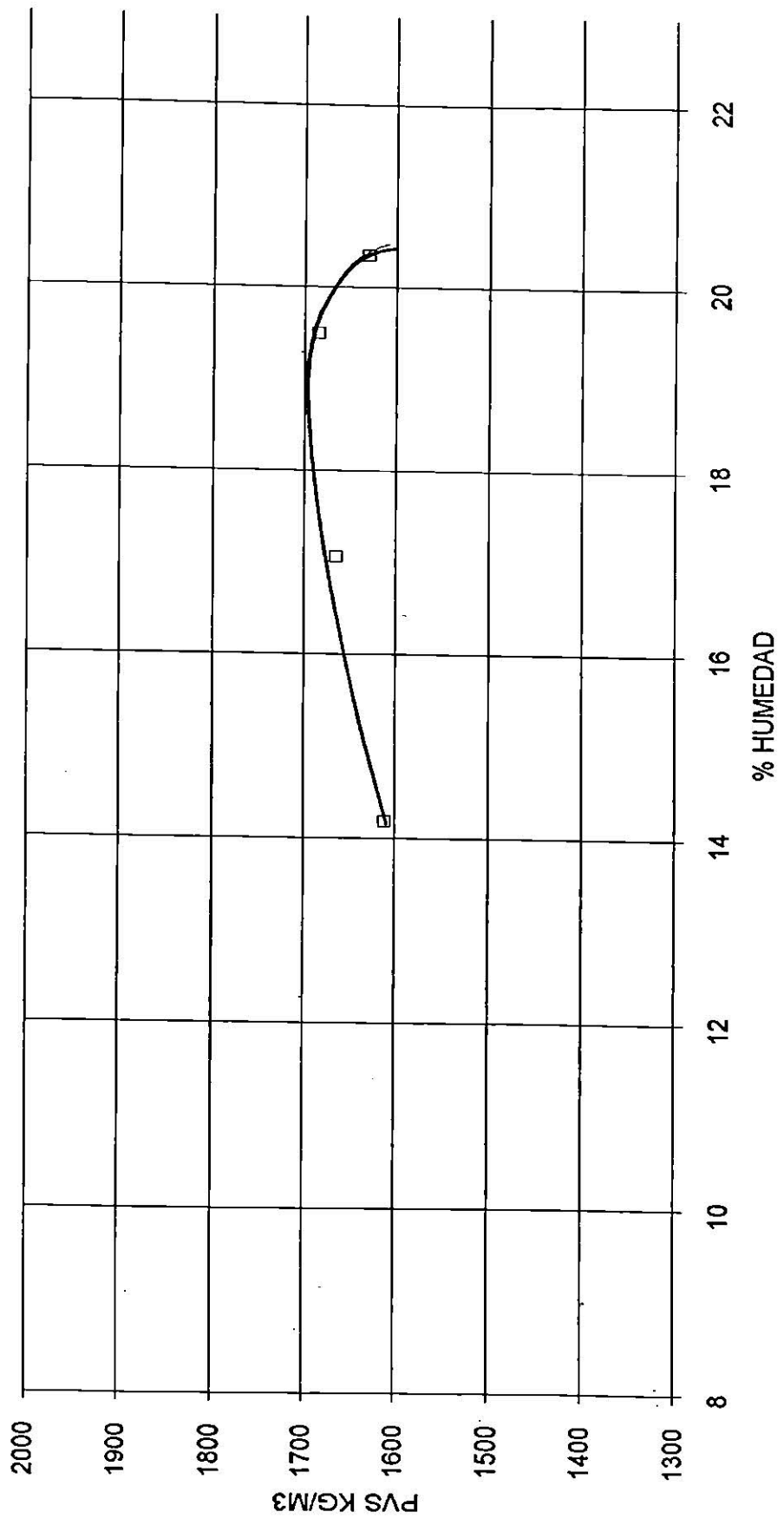
GRAFICA III-12 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C VILLA DE GARCIA. 5% CEMENTO



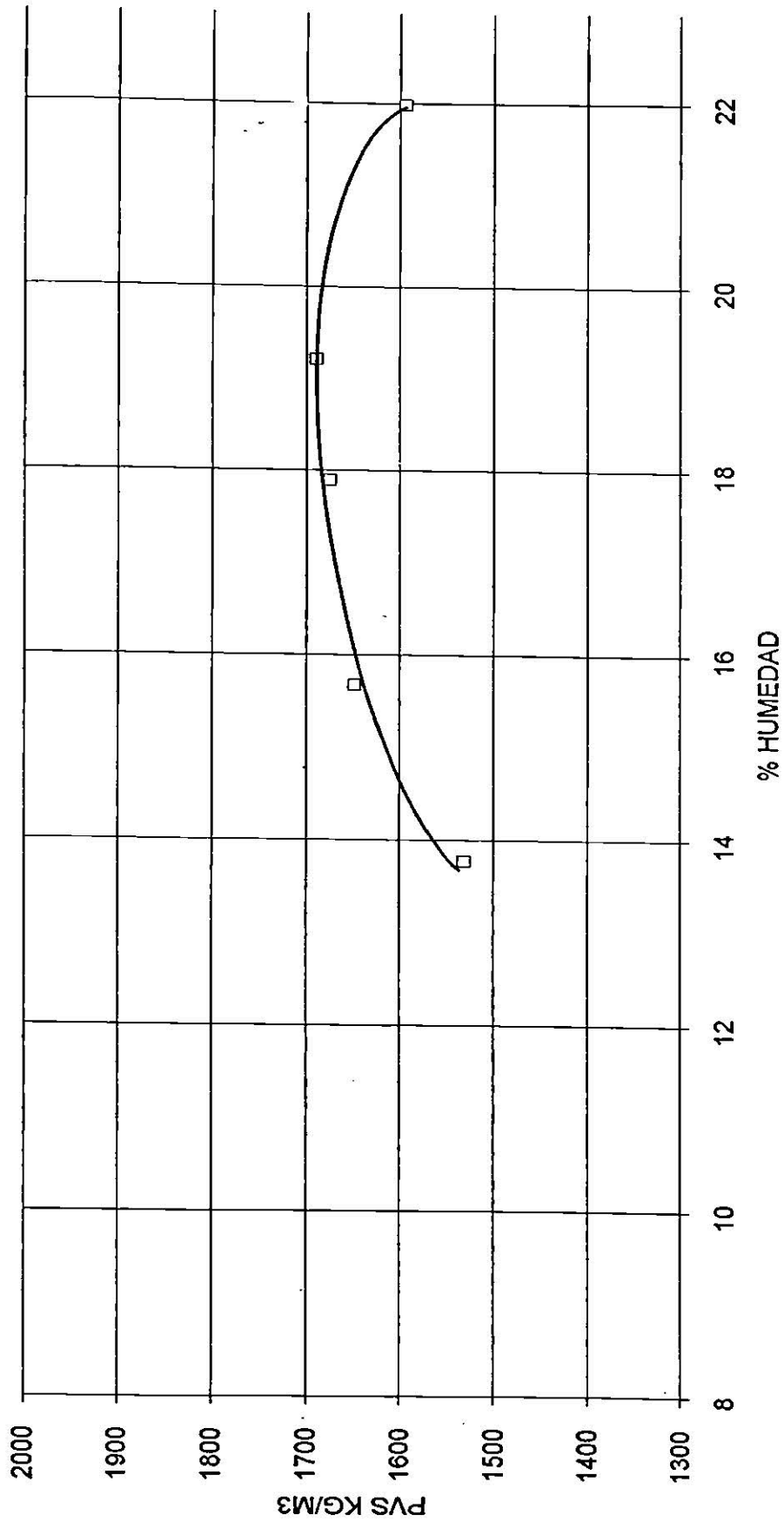
GRAFICA III-13 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C VILLA DE GARCIA. 7.5% CEMENTO



GRAFICA III-14 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE S-C VILLA DE GARCIA. 10% CEMENTO



GRAFICA III-15 CURVA DE RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE
S-C VILLA DE GARCIA. 12.5% CEMENTO



3.4 Conclusiones.

Resumen de resultados.

Suelo de Apodaca.- Humedad óptima del suelo = 18%.

CONSUMO	HUMEDAD OPTIMA.
---------	-----------------

2.5 %	18 %
5.0 %	18 %
7.5 %	18 %
10.0 %	18.7 %
12.5 %	18 %

Suelo de Villa de Juárez.- Humedad optima = 12.4 %

CONSUMO	HUMEDAD OPTIMA.
---------	-----------------

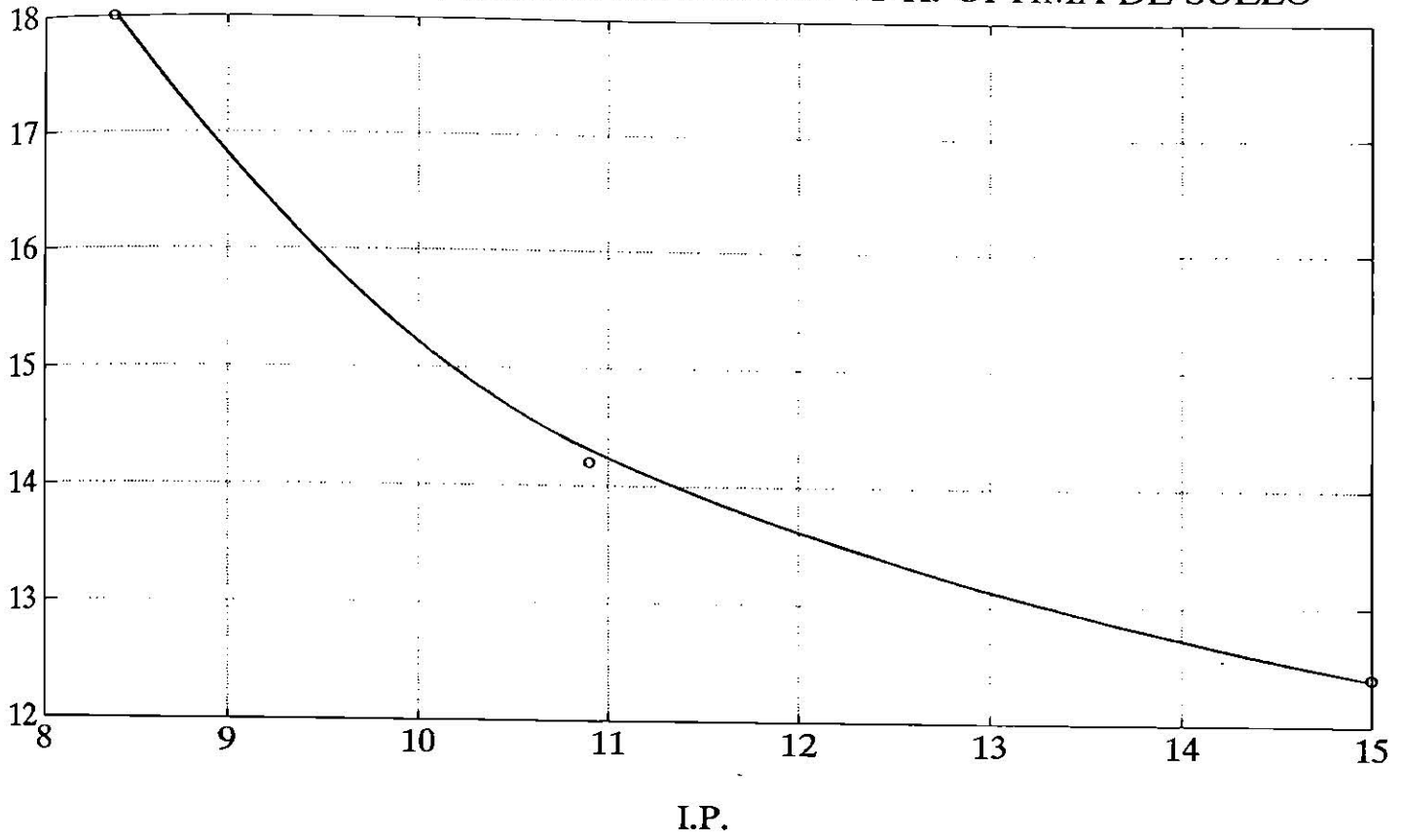
5.0 %	14.5 %
7.5 %	15.0 %
10.0 %	15.0 %
12.5 %	15.0 %

Suelo de Villa de García.- Humedad optima = 14.2 %

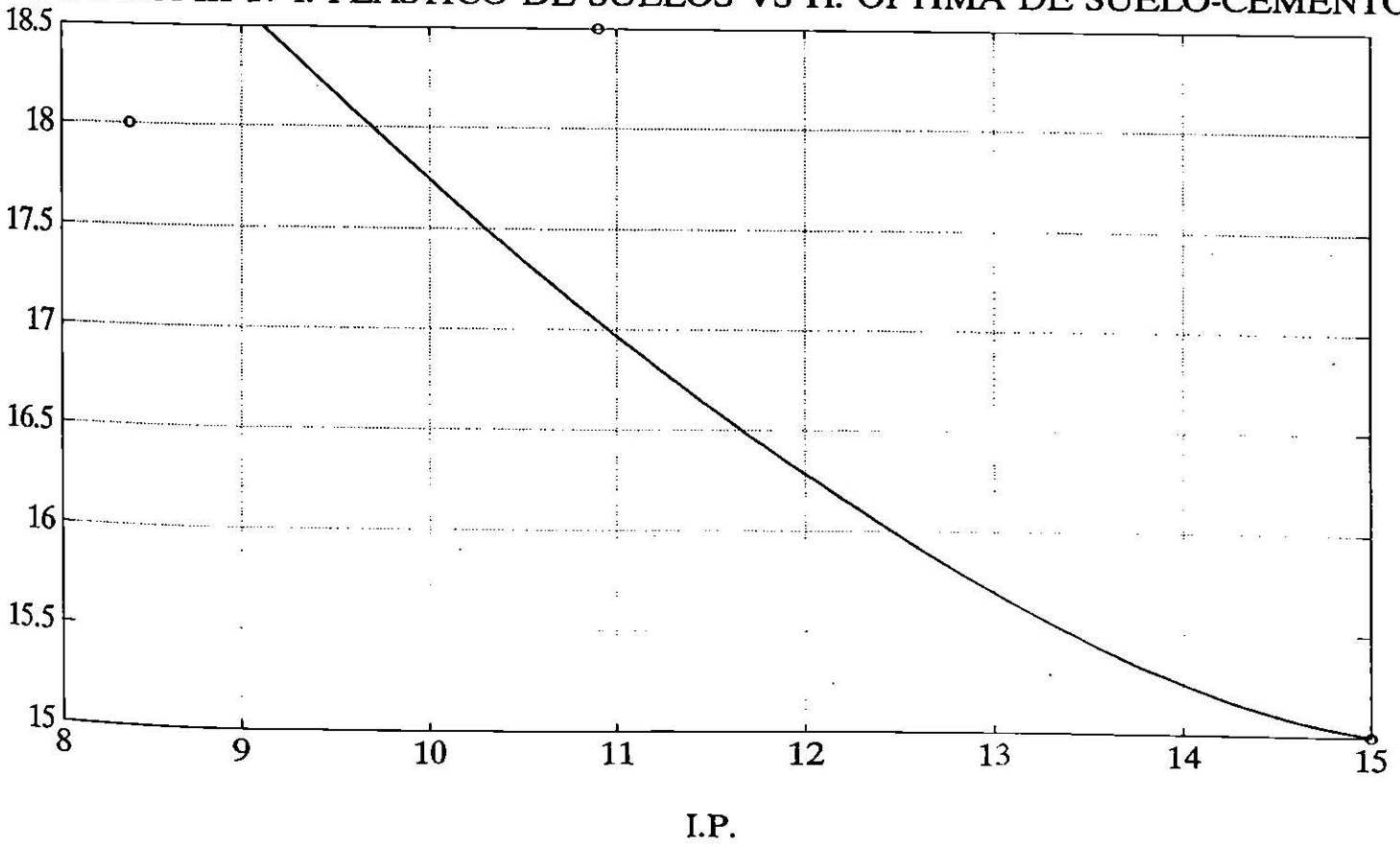
CONSUMO	HUMEDAD OPTIMA.
---------	-----------------

5.0 %	18.0 %
7.5 %	18.0 %
10.0 %	19.0 %
12.5 %	19.0 %

GRAFICA III-16 I. PLASTICO DE SUELOS VS H. OPTIMA DE SUELO



GRAFICA III-17 I. PLASTICO DE SUELOS VS H. OPTIMA DE SUELO-CEMENTO



Según la gráfica III-1 se observa que por lo que respecta a los suelos solos la humedad óptima disminuye al incrementarse el índice plástico del suelo.

En el caso de la gráfica III-2 (Relación Índice plástico del suelo Vs. Humedad óptima del suelo cemento) la humedad óptima también disminuye cuando se incrementa el índice plástico pero en la mitad del decremento.

Se observa que en los tres casos del suelo cemento, la humedad óptima aumenta ligeramente ante el incremento del cemento, por lo que puede concluirse que para su obtención, para diversos contenidos de cemento basta obtener una sola determinación con cualquier contenido.

El aumento casi nulo de la humedad óptima ante el incremento de cemento puede atribuirse a que la saturación del cemento es muy parecida a la humedad óptima del suelo.

Este comportamiento es similar al de un estudio realizado en Brasil(4), en donde se han dispuesto diferentes consumos y la humedad optima ha sido relativamente igual. Con este criterio se ahorran determinaciones para otros consumos.

Es importante establecer que el cemento influye en la humedad óptima y que no puede tomarse en ningún caso la humedad optima del suelo como la humedad óptima del suelo cemento, por lo que hay necesidad de hacer por lo menos una determinación de esta humedad para un valor de consumo de cemento.

Bibliografía capítulo 3.

- (1) Fundamentos de la mecánica de los suelos.
Editorial Limusa.
E. Juárez Badillo, A. Rico Rdz.
- (2) Idem.
- (3) American Society for Testing and Materials (ASTM) 1993 Anual Book of ASTM Standards. Section 4: Construction, Volume 4.08: Soil and Rock; Dimension Stone; Geosynthetics. Copyright. 1993 ASTM.
- (4) Memoria del 2do. Seminario Latinoamericano sobre construcción de Viviendas Económicas. Vol. Materiales.
Monterrey, N. L. México. Octubre 4, 5 y 6 de 1982.
El Suelo-Cemento en la autoconstrucción de viviendas.
Moema Rivas Silva.

Capítulo 4

Resistencia a la compresión al variar el contenido de cemento.

4.1 Introducción

Los ensayos de resistencia a la compresión pueden ser ejecutados en cilindros o en ladrillos (o bloques) de suelocemento. Si se decide determinar la resistencia por medio de cilindros, existe la norma ASTM D1633-84 con dos alternativas.(1)

En el estudio del suelo cemento, el primer paso es hacer el muestreo correcto del suelo para ejecutar su clasificación a través de ensayos de laboratorio.

El proceso de estabilización de un suelo mediante un conglomerante hidráulico es un fenómeno aún no totalmente entendido, por lo que se han supuesto algunas hipótesis.

La hipótesis más aceptada es de que por la hidratación del cemento hay una transferencia en la cantidad de la carga eléctrica en el medio arcilloso, a través del cambio de cationes, produciéndose una atracción entre las partículas, formando grumos originando en esta forma, la pérdida brusca de la plasticidad de la mezcla.(2)

El producto final se caracteriza por la formación de cadenas hexagonales que aíslan en su interior partículas que no llegan a ser aglutinadas, impidiendo su dilatación a causa de la impermeabilidad.(3)

Se ha observado que para un mismo suelo, la resistencia a la compresión aumenta con la edad y con el contenido de cemento. Además, las resistencias a la compresión a igualdad de cemento y edad, son mayores en un suelo más grueso que otro. Esta propiedad se ha tomado como criterio de estabilización óptima del suelo-cemento, pero los requisitos difieren mucho con cada país. En Inglaterra se requiere un mínimo de 17.5 kg/cm² a los 7 días de edad, correspondiendo a 30 o 35 kg/cm² a los 28 días ; en EUA se especifica un mínimo aproximado de 21 kg/cm² a los 7 días, siendo a los 28 días entre 35 y 45 kg/cm²; en Alemania se requiere entre 50 y 150 kg/cm² a los 28

días. Salvo en EUA que considera la durabilidad del suelo-cemento como criterio decisivo, el resto de los países consideran el requisito de la resistencia como definitivo.(4)

En EUA se han alcanzado resistencias hasta de 150 kg/cm² a los 28 días de edad con suelos gruesos (gravas y arenas, con pocos finos) y con un 14% de cemento por peso del suelo seco. El desarrollo de resistencia a la compresión del suelo-cemento después de los 28 días es muy grande, comparado con el del concreto normal, por ejemplo; la resistencia a la compresión a los 90 días es de 1.4 a 2.6 veces mayor que la de 28 días y con los años llega a ser de 2.5 a 5 veces mayor que la de 28 días.(5)

4.2 Métodos de curado y ensaye en especímenes de suelo-cemento

Para mayor detalle del procedimiento referirse a la norma D1632ASTM y D1633ASTM en el apéndice A.

Para la fabricación de los especímenes de suelo-cemento de acuerdo a la norma D 1633 ASTM (6) se necesita del siguiente equipo:

- Molde para fabricación de especímenes.

El molde es un tubo que tiene un diámetro interior de 71 ± 0.025 mm y una altura de 229mm; pison exterior con diámetro exterior de 70.99 mm y altura de 38 mm; pison superior con diámetro exterior de 70.99 mm y altura = 45.08 mm; molde de extensión, tubo con diámetro interior = 71 mm y altura = 152 mm y extractor.

-Malla No. 4.

-Balanza de capacidad 12kg y precisión de 0.1 grs.

-Horno.

-Máquina universal.

-Regla.

El procedimiento es el siguiente:

- 1.- Se pesan 1kg de suelo.
- 2.- Se le agrega el cemento y se homogeniza hasta que quede un color uniforme.
- 3.- Se le va agregando agua en pequeñas cantidades hasta que da el proporcionamiento.
- 4.- Se deja reposar 5 min. y se criba por la malla No. 4.
- 5.- Se coloca la mezcla en el molde con el pison inferior puesto.
- 6.- Se coloca el pison superior y se le aplica la carga en la máquina universal, hasta la presión de compactación requerida.
- 7.- Se quitan los pisones inferior y superior y se coloca en la parte inferior el extractor y en la parte superior el molde de extensión.

- 8.- Se lleva a la maquina universal y se aplica presión hasta que se extraiga el especimen. Este deberá quedar alojado en el molde de extensión.
- 9.- Se saca de ahí y se nomenclatura.
- 10.- Se pesa y se mide diámetro y altura, se lleva al registro los datos.
- 11.- Se lleva al especimen al cuarto de curado por 7 días.
- 12.- Después de 7 días se sumerge el especimen por 4 hrs. en agua.
- 13.- Se remueve el especimen y se lleva a la máquina universal.
- 14.- Con una velocidad de 1 mm/min se prueba a compresión hasta la falla.
- 15.- Se anota en el registro la carga de compresión y con el área del especimen se obtiene el esfuerzo a la compresión con la fórmula $E = P/A$.

ESPECIMENES POR FABRICAR.

- 3 Tipos de suelo: Apodaca, Villa de Juárez, Villa de García.
- 3 Cargas de compactación: 45, 60 y 75 Kg/cm².
- 5 Consumos de cemento: 2.5, 5, 7.5, 10 y 12.5%

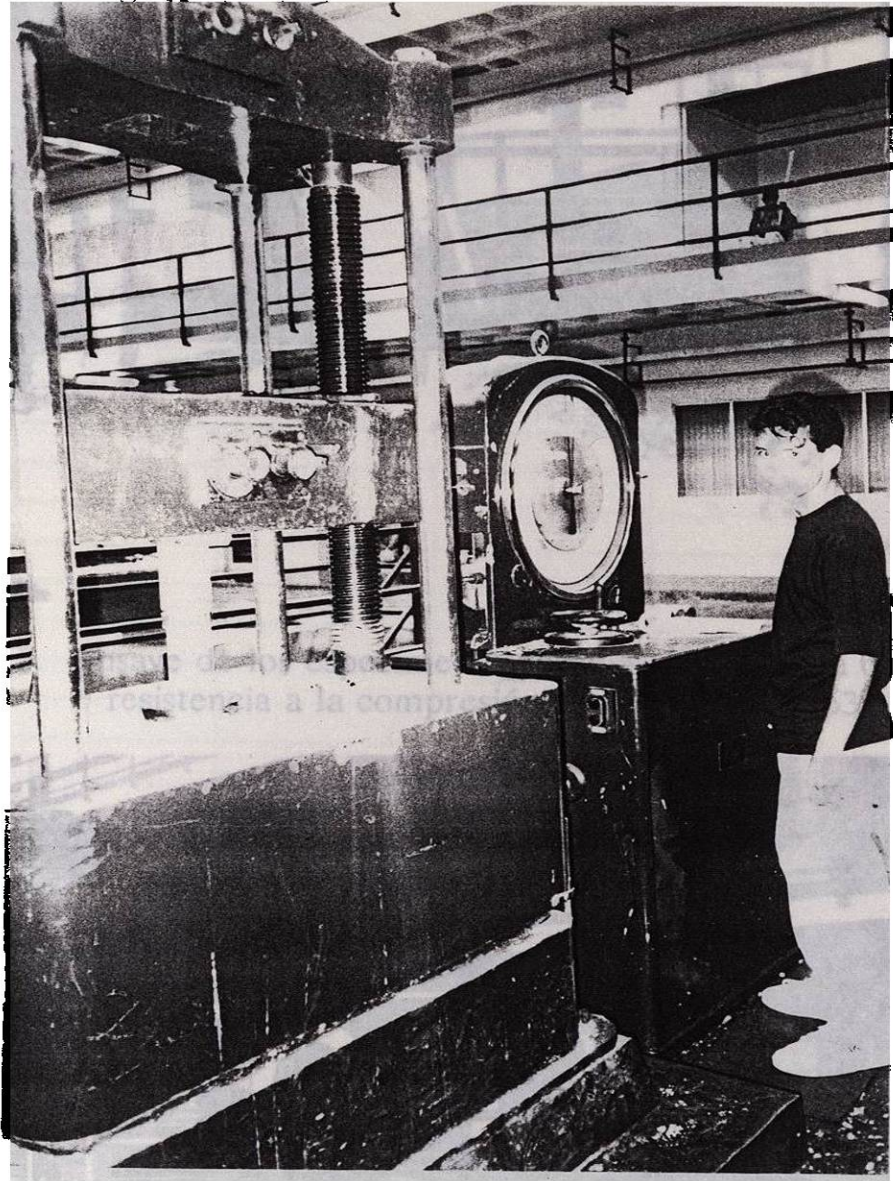
CANTIDAD TOTAL DE ESPECIMENES FABRICADOS PARA ESTE ENSAYE.

3 Especimenes x 3 cargas de compactación. x 5 consumos de cemento. x 3 tipos de suelo.

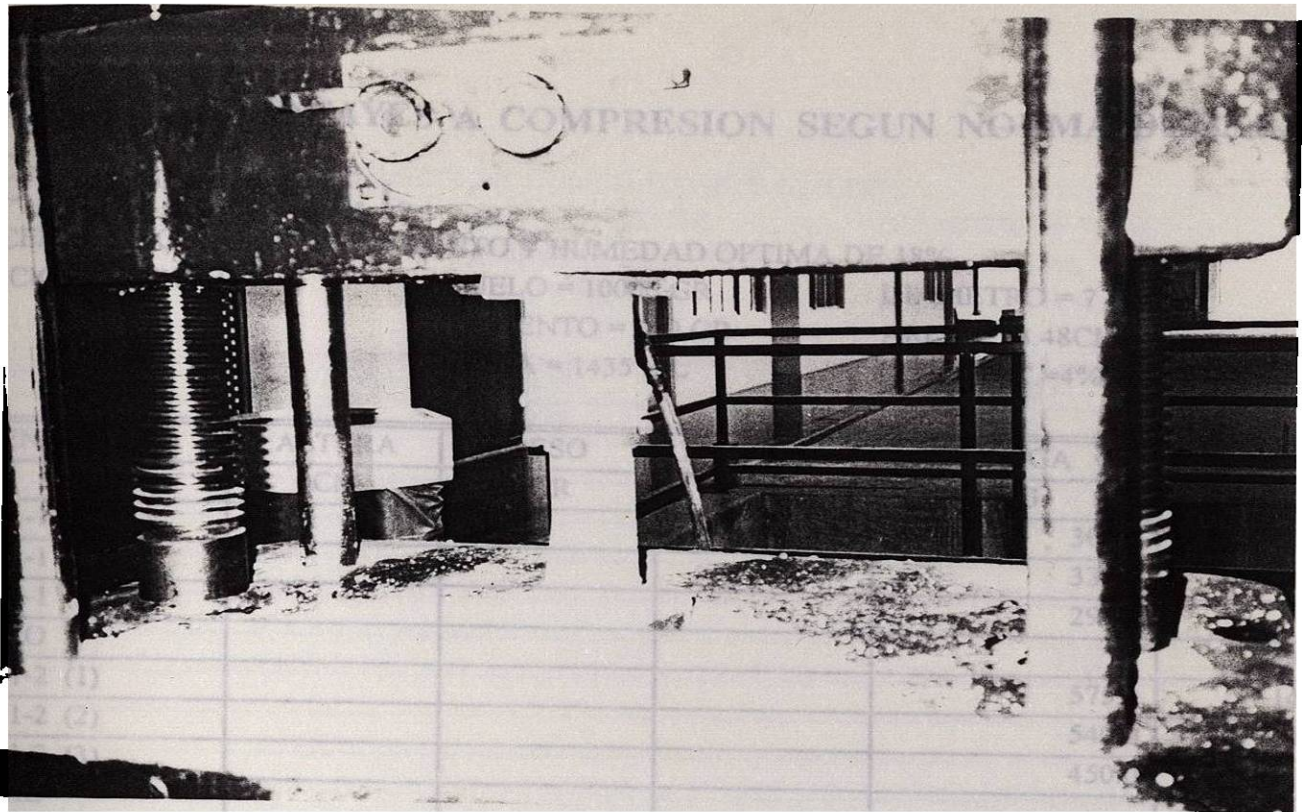
CANTIDAD TOTAL = 135 ESPECIMENES.



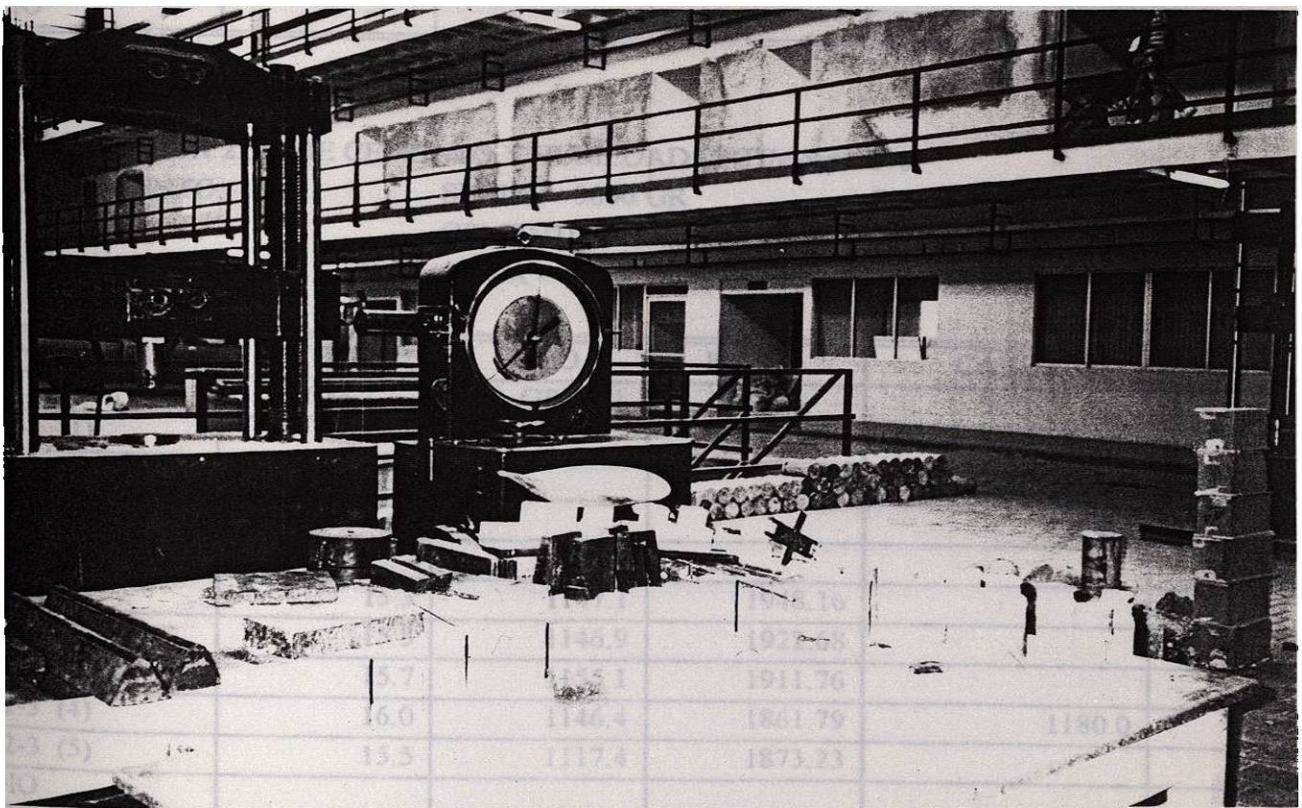
Fotografía 1. Curado estándar norma ASTM1632 de especímenes de suelo-cemento



Fotografía 2. Ensaye de los especímenes para la obtención de la resistencia a la compresión, norma D1632 ASTM



Fotografía 3. Ensaye de los especímenes curados de S-C para obtener resistencia a la compresión según norma D1632ASTM



Fotografía 4. Especímen de S-C ensayados según norma D1632ASTM

RESULTADOS DE ENSAYES A COMPRESION SEGUN NORMA D1633-84 ASTM.

SUELO DE APODACA, N. L.

SUELO-CEMENTO CON 2.5 % DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 18%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 10000 GR

DIAMETRO = 7 CM

CEMENTO = 250 GR

AREA = 38.48CM².

AGUA = 1435 ML

HUM. INIC.=4%.

NOMENCLATURA	ALTURA CM	PESO GR	P. VOL. KG/M ³	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
1-1 (1)				300.0	7.795
1-1 (2)				330.0	8.575
1-1 (3)				290.0	7.536
PROMEDIO					7.969
1-2 (1)				575.0	14.941
1-2 (2)				540.0	14.032
1-2 (3)				450.0	11.693
PROMEDIO					13.555
1-3 (1)				695.0	18.059
1-3 (2)				740.0	19.229
1-3 (3)				668.0	17.358
PROMEDIO					18.215

SUELO-CEMENTO CON 2.5% DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA = 18%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 3000 GR

DIAMETRO = 7 CM

CEMENTO = 150 GR

AREA =38.48 CM².

AGUA = 436.3

HUM. INIC.=4 %.

NOMENCLATURA	ALTURA CM	PESO GR	P. VOL. KG/M ³	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
2-2 (1)				925.0	24.036
2-2 (2)				1045.0	27.154
2-2 (3)				1240.0	32.221
PROMEDIO					27.803
2-3 (1)	15.3	1147.1	1948.16		
2-3 (2)	15.5	1146.9	1922.68		
2-3 (3)	15.7	1155.1	1911.76		
2-3 (4)	16.0	1146.4	1861.79	1180.0	30.662
2-3 (5)	15.5	1117.4	1873.23		
PROMEDIO					30.662

SUELO-CEMENTO CON 5 % DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA = 18%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 10000 GR

DIAMETRO = 7 CM

CEMENTO = 750 GR

AREA=38.48%.

AGUA = 1505 ML

HUM. INIC.=4%.

NOMENCLATURA	ALTURA	PESO	P. VOL.	CARGA	ESFUERZO
	CM	GR	KG/M3	KG	KG/CM2
3-1 (1)				690.0	17.929
3-1 (2)				955.0	24.815
3-1 (3)				850.0	22.087
3-1 (4)				815.0	21.177
PROMEDIO					21.502
3-2 (1)				1100.0	28.583
3-2 (2)				1075.0	27.933
3-2 (3)				1075.0	27.933
PROMEDIO					28.150
3-3 (1)				1450.0	37.678
3-3 (2)				1265.0	32.870
3-3 (3)				1380.0	35.859
PROMEDIO					35.469

SUELO-CEMENTO CON 10% DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 18.7%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 3000 GR

DIAMETRO = 7 CM

CEMENTO = 300 GR

AREA= 38.48 CM2.

AGUA = 513.15 ML

HUM. INIC.=3.15%.

NOMENCLATURA	ALTURA	PESO	P. VOL.	CARGA	ESFUERZO
	CM	GR	KG/M3	KG	KG/CM2
4-2 (1)				1360.0	35.339
4-2 (2)				1460.0	37.937
4-2 (3)				1380.0	35.859
PROMEDIO					36.378

SUELO-CEMENTO CON 12.5% DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 19.5%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 3000 GR

DIAMETRO = 7 CM

CEMENTO = 375 GR

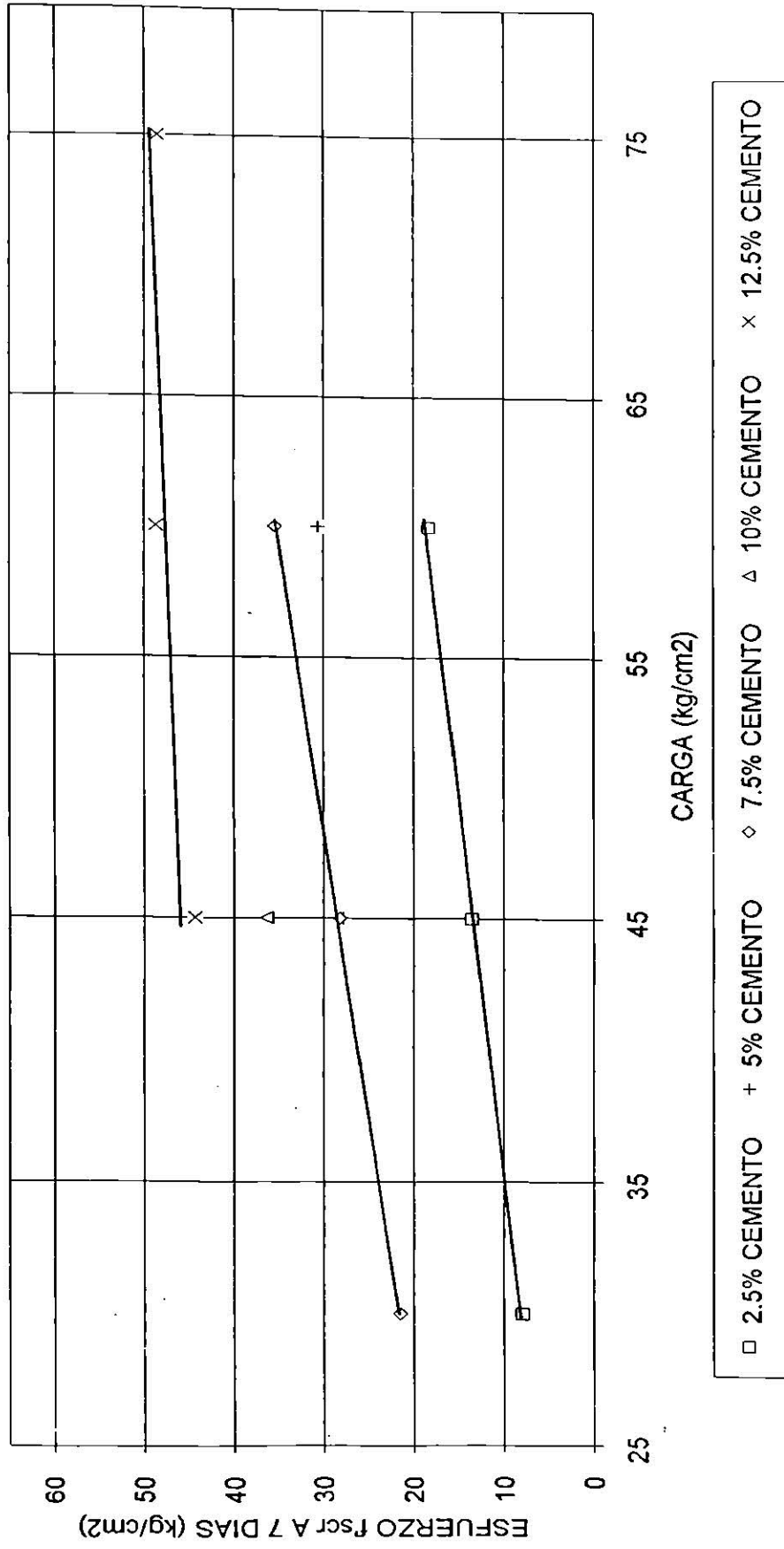
AREA=38.48 CM2.

AGUA = 551.81

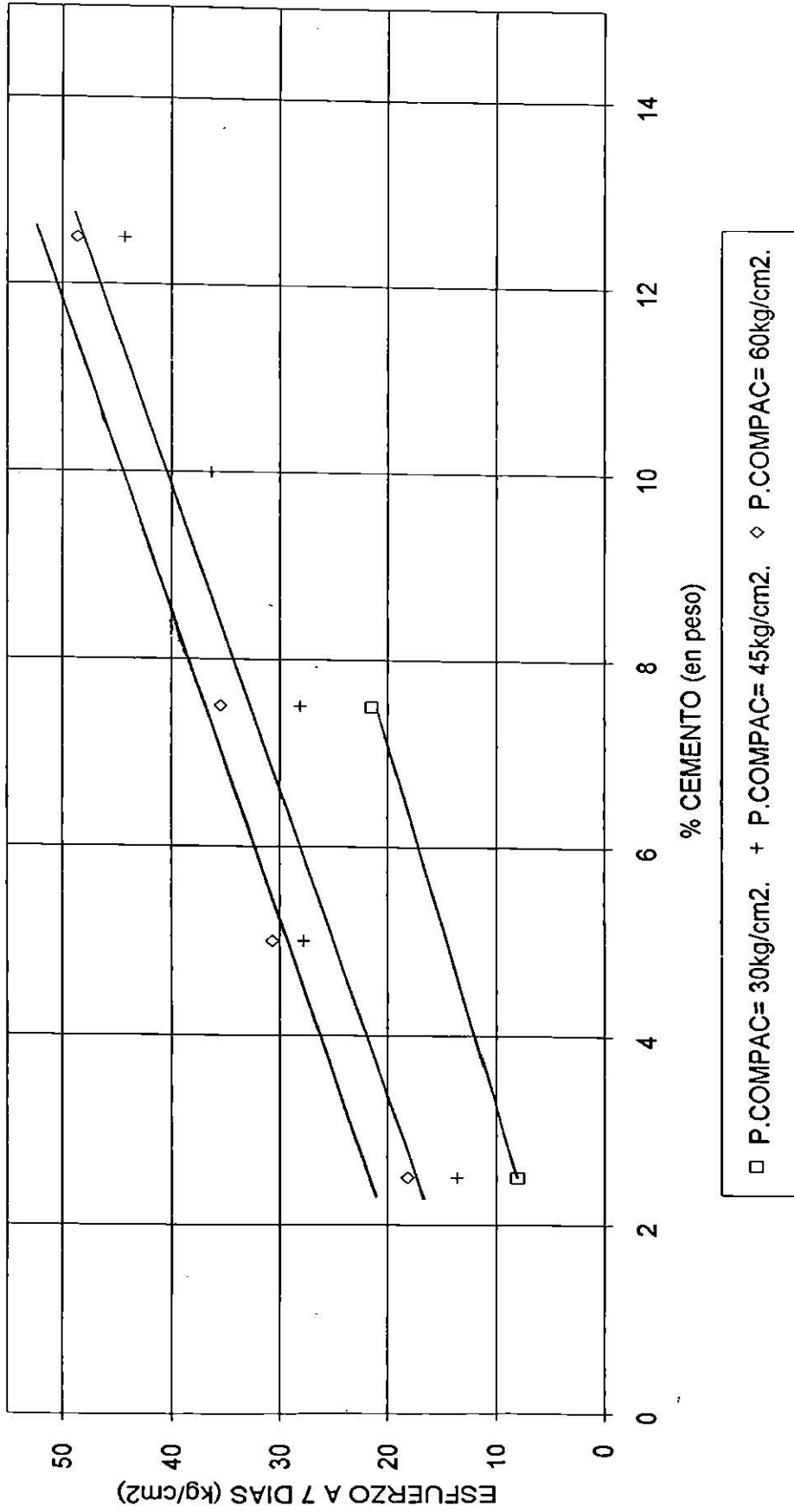
HUM. INIC.=3.15%.

NOMENCLATURA	ALTURA	PESO	P. VOL.	CARGA	ESFUERZO
	CM	GR	KG/M3	KG	KG/CM2
5-2 (1)				1485.0	38.587
5-2 (2)				1730.0	44.953
5-2 (3)				1910.0	49.630
PROMEDIO					44.390
5-3 (1)	15.1	1134.2	1951.76		
5-3 (2)	14.7	1103.0	1949.72	2810.0	73.016
5-3 (3)	15.2	1135.0	1940.29	2810.0	73.016
PROMEDIO					73.016
5-4 (1)	15.1	1144.9	1970.17	2825.0	73.406
5-4 (2)	15.0	1132.6	1962.00		
5-4 (3)	15.2	1140.5	1949.69	2785.0	72.367
PROMEDIO					72.367

GRAFICA IV-1 CARGA MAXIMA DE COMPACTACION VS ESFUERZO DE COMPRESION PARA DISTINTOS CONSUMOS DE CEMENTO. SUELO APODACA.



GRAFICA IV-2 CONSUMO DE CEMENTO VS ESFUERZO DE COMPRESION. SUELO APODACA.



RESULTADOS DE ENSAYES A COMPRESION SEGUN NORMA D1633-84 ASTM.

SUELO DE VILLA DE JUAREZ, N. L.

SUELO-CEMENTO CON 5 % DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 14.5%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 9000 GR

DIAMETRO = 7.0 CM

CEMENTO = 450 GR

AREA = 38.48 CM²

AGUA = 961.5 ML

HUM. INIC. = 4.325%

NOMENCLATURA	ALTURA	PESO	P. VOL.	CARGA	ESFUERZO
	CM	GR	KG/M ³	KG	KG/CM ²
2-2 (1)	15.9	1149.0	1877.75	1155.0	30.012
2-2 (2)	14.9	1141.5	1990.69	890.0	23.126
2-2 (3)	15.1	1144.0	1968.63	935.0	24.295
PROMEDIO					25.811
2-3 (1)	14.8	1143.2	2007.13	1130.0	29.362
2-3 (2)	14.9	1145.6	1997.84	1045.0	27.154
2-3 (3)	14.8	1145.6	2011.34	1190.0	30.922
PROMEDIO					29.146
2-4 (1)	13.9	1141.9	2134.65	1260.0	32.740
2-4 (2)	14.1	1109.0	2043.74	1250.0	32.481
2-4 (3)	14.5	1143.4	2049.01	1285.0	33.390
PROMEDIO					32.870

SUELO-CEMENTO CON 7.5% DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA = 15 %.

SUELO DE VILLA JUAREZ.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 9000 GR

DIAMETRO = 7.0 CM

CEMENTO = 675 GR

AREA = 38.48 CM²

AGUA = 1032.8 ML

HUM. INIC. = 4.325%

NOMENCLATURA	ALTURA	PESO	P. VOL.	CARGA	ESFUERZO
	CM	GR	KG/M ³	KG	KG/CM ²
3-2 (1)	13.3	1087.0	2123.69	1050.0	27.284
3-2 (2)	14.3	1131.5	2056.05	1080.0	28.063
3-2 (3)	14.4	1140.0	2057.11	1030.0	26.764
PROMEDIO					27.370
3-3 (1)	14.1	1138.5	2098.11	1290.0	33.520
3-3 (2)	14.1	1128.2	2079.13	1245.0	32.351
3-3 (3)	14.1	1140.5	2101.79	1235.0	32.091
PROMEDIO					32.654
3-4 (1)	14.2	1149.3	2103.10	1345.0	34.949
3-4 (2)	14.2	1149.2	2102.91	1420.0	36.898
PROMEDIO					35.924

SUELO-CEMENTO CON 10 % DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 15%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 9000 GR

DIAMETRO = 7.0 CM

CEMENTO = 900 GR

AREA = 38.48 CM².

AGUA = 1056.8 ML

HUM. INIC.=4.325%

NOMENCLATURA	ALTURA CM	PESO GR	P. VOL. KG/M3	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
4-2 (1)	14.1	1133.5	2088.89	1760.0	45.733
4-2 (2)	14.7	1146.5	2026.61	1310.0	34.040
4-2 (3)	14.7	1131.0	1999.21	1190.0	30.922
PROMEDIO					36.898
4-3 (1)	14.6	1142.1	2032.66	1440.0	37.418
4-3 (2)	14.3	1124.6	2043.51	1440.0	37.418
4-3 (3)	14.7	1143.3	2020.96	1470.0	38.197
PROMEDIO					37.678
4-4 (1)	14.6	1142.5	2033.38	1425.0	37.028
4-4 (2)	14.5	1147.0	2055.46	1570.0	40.796
4-4 (3)	14.2	1125.3	2059.18	1460.0	37.937
PROMEDIO					38.587

SUELO-CEMENTO CON 12.5% DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 15%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 900 GR

DIAMETRO = 7.0 CM

CEMENTO = 1125 GR

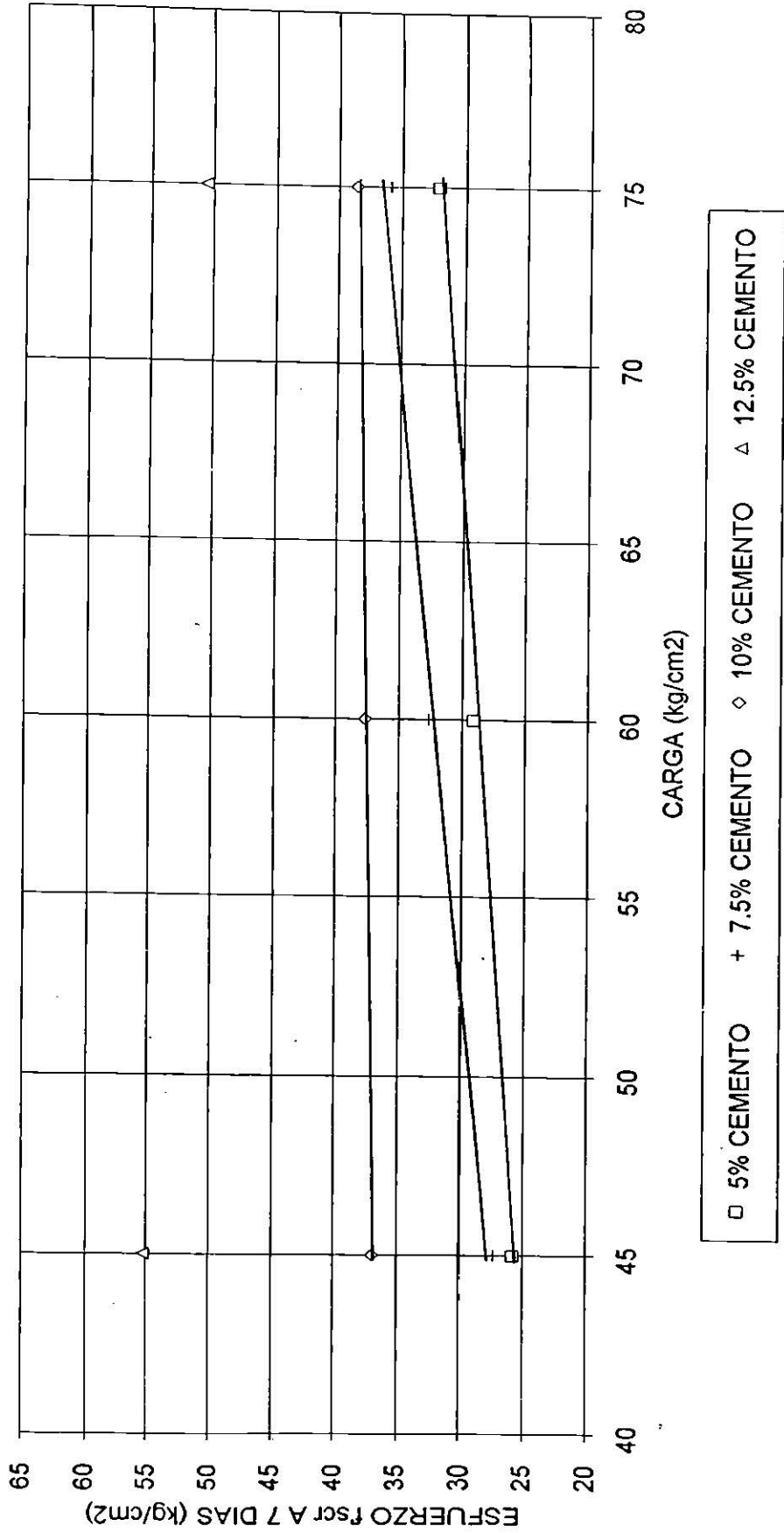
AREA = 38.48 CM².

AGUA = 1080.8 ML

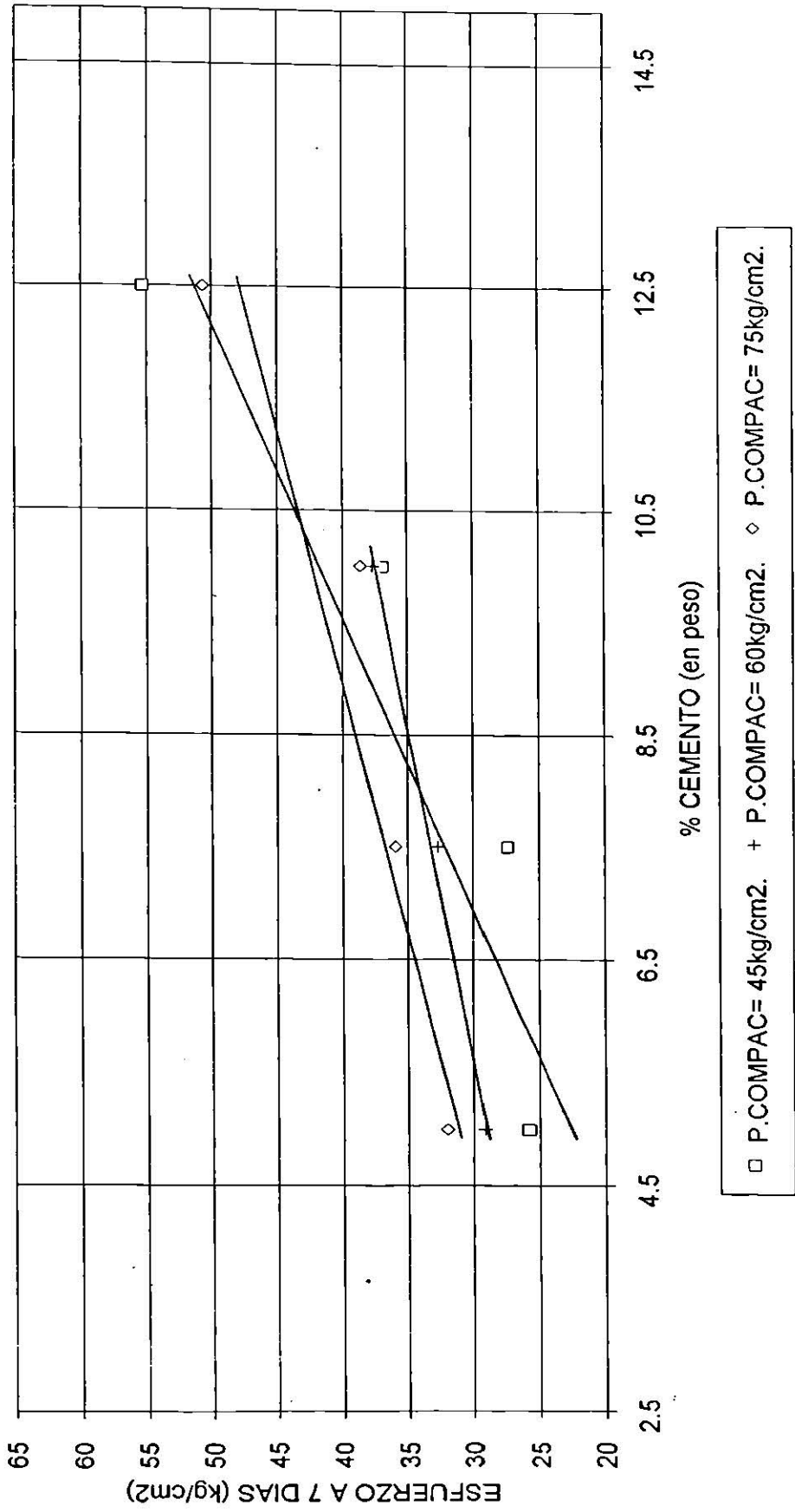
HUM. INIC.=4.325%

NOMENCLATURA	ALTURA CM	PESO GR	P. VOL. KG/M3	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM ²
5-2 (1)	14.1	1153.6	2125.94	1850.0	48.071
5-2 (2)	14.2	1144.7	2094.68	1800.0	46.772
5-2 (3)	14.4	1148.9	2073.16	1840.0	47.811
PROMEDIO					47.552
5-3 (1)	14.2	1145.0	2095.23		0.000
5-3 (2)	14.2	1138.1	2082.60		0.000
5-3 (3)	14.4	1145.5	2067.03		0.000
PROMEDIO					0.000
5-4 (1)	14.3	1148.5	2086.94	2060.0	53.528
5-4 (2)	14.3	1148.5	2086.94	1840.0	47.811
5-4 (3)	14.4	1147.3	2070.28	1945.0	50.540
PROMEDIO					50.626

GRAFICA IV-5 CARGA MAXIMA DE COMPACTACION VS ESFUERZO DE COMPRESION PARA DISTINTOS
 CONSUMOS DE CEMENTO. SUELO VILLA JUAREZ.



GRAFICA IV-6 CONSUMO DE CEMENTO VS ESFUERZO DE COMPRESION. SUELO VILLA JUAREZ.



RESULTADOS DE ENSAYES A COMPRESION SEGUN NORMA D1633-84 ASTM.

SUELO DE VILLA DE GARCIA, N. L.

SUELO-CEMENTO CON 5% DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 18 %.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 9000 GR

DIAMETRO = 7 CM

CEMENTO = 450 GR

AREA=38.48 CM2

AGUA = 1351 ML

HUM. INIC.=3.7%

NOMENCLATURA	ALTURA CM	PESO GR	P. VOL. KG/M3	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM2
2-2 (1)	14.5	1146.2	2054.03	1330.0	34.559
2-2 (2)	14.5	1145.3	2052.42	1270.0	33.000
2-2 (3)	14.5	1134.6	2033.24	1190.0	30.922
PROMEDIO					32.827
2-3 (1)	14.4	1147.1	2069.92	1400.0	36.378
2-3 (2)	14.6	1145.0	2037.82	1370.0	35.599
2-3 (3)	14.5	1145.9	2053.49	1270.0	33.000
PROMEDIO					34.992
2-4 (1)	14.1	1130.0	2082.44	1420.0	36.898
2-4 (2)	14.4	1142.0	2060.71	1490.0	38.717
2-4 (3)	14.4	1144.1	2064.50	1455.0	37.807
PROMEDIO					37.807

SUELO-CEMENTO CON 7.5% DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 18%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 9000 GR

DIAMETRO = 7 CM

CEMENTO = 675 GR

AREA = 38.48CM2.

AGUA = 1383 ML

HUM. INIC.=3.7%

NOMENCLATURA	ALTURA CM	PESO GR	P. VOL. KG/M3	CARGA KG	ESFUERZO KG/CM2
3-2 (1)	14.8	1147.7	2015.03	1460.0	37.937
3-2 (2)	15.1	1142.7	1966.39	1490.0	38.717
3-2 (3)	14.9	1142.3	1992.09	1480.0	38.457
PROMEDIO					38.370
3-3 (1)	14.5	1139.0	2041.13	1725.0	44.823
3-3 (2)	14.5	1137.0	2037.54	1745.0	45.343
3-3 (3)	14.8	1145.4	2010.99	1800.0	46.772
PROMEDIO					45.646
3-4 (1)	14.7	1147.2	2027.85	1835.0	47.682
3-4 (2)	13.5	1068.8	2057.20	1845.0	47.941
3-4 (3)	14.1	1108.0	2041.90	1850.0	48.071
PROMEDIO					47.898

SUELO-CEMENTO CON 10 % DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 19%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 9000 GR

DIAMETRO = 7 CM

CEMENTO = 900 GR

AREA = 38.48CM².

AGUA = 1515 ML

HUM. INIC.=3.7%.

NOMENCLATURA	ALTURA	PESO	P. VOL.	CARGA	ESFUERZO
	CM	GR	KG/M3	KG	KG/CM2
4-2 (1)	14.1	1099.3	2025.87	2100.0	54.567
4-2 (2)	14.1	1099.5	2026.24	1990.0	51.709
4-2 (3)	14.0	1097.9	2037.74	2125.0	55.217
PROMEDIO					53.831
4-3 (1)	13.9	1098.6	2053.71	2100.0	54.567
4-3 (2)	14.0	1098.0	2037.93	2125.0	55.217
4-3 (3)	13.9	1092.2	2041.75	1875.0	48.721
PROMEDIO					52.835
4-4 (1)	13.8	1095.7	2063.13	2170.0	56.386
4-4 (2)	13.9	1097.2	2051.09	2075.0	53.918
4-4 (3)	13.8	1095.5	2062.75	2230.0	57.945
PROMEDIO					56.083

SUELO-CEMENTO CON 12.5% DE CEMENTO Y HUMEDAD OPTIMA DE 19%.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO = 9000 GR

DIAMETRO = 7 CM

CEMENTO = 1125 GR

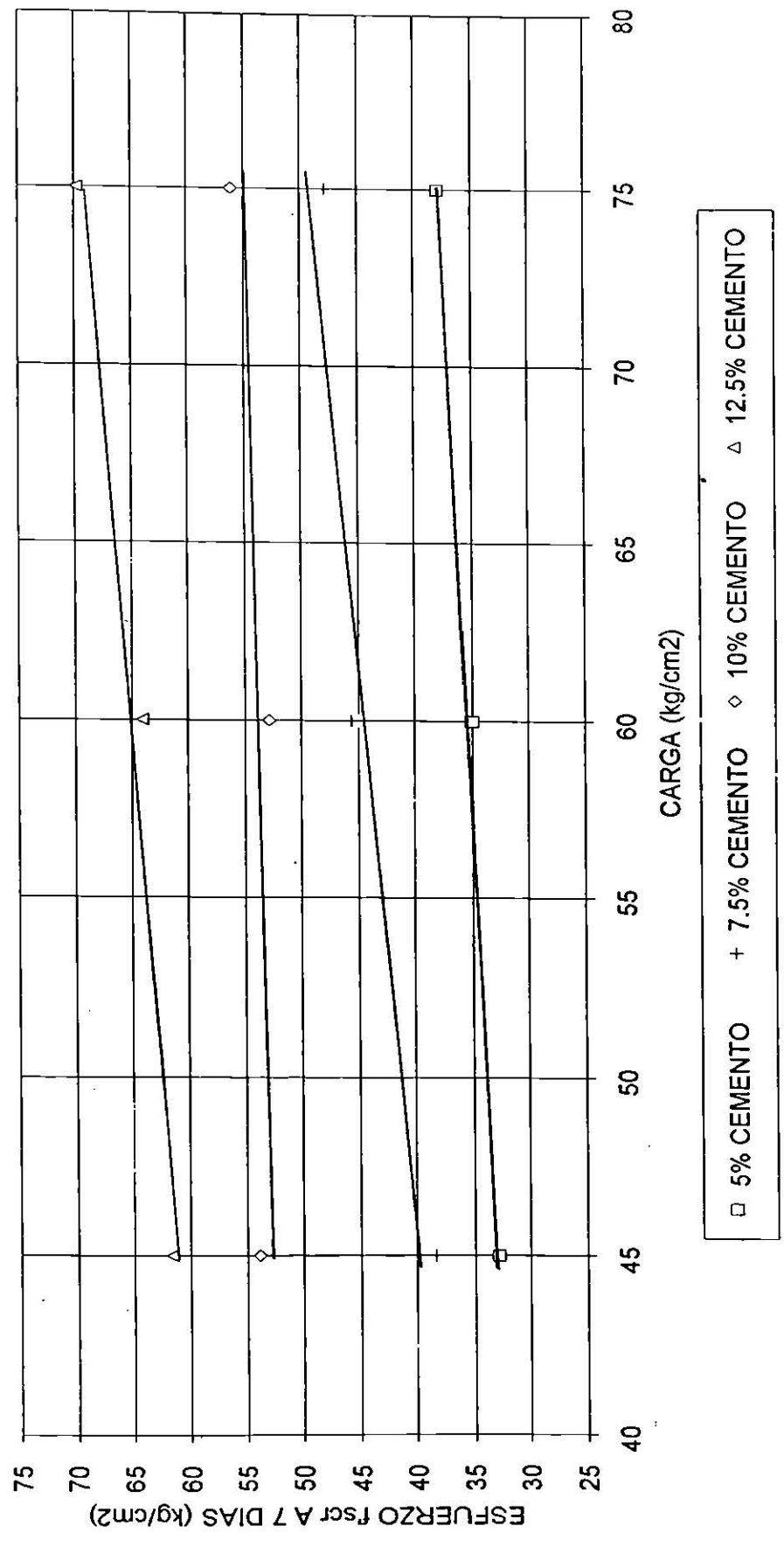
AREA = 38.48 CM².

AGUA = 1549 ML

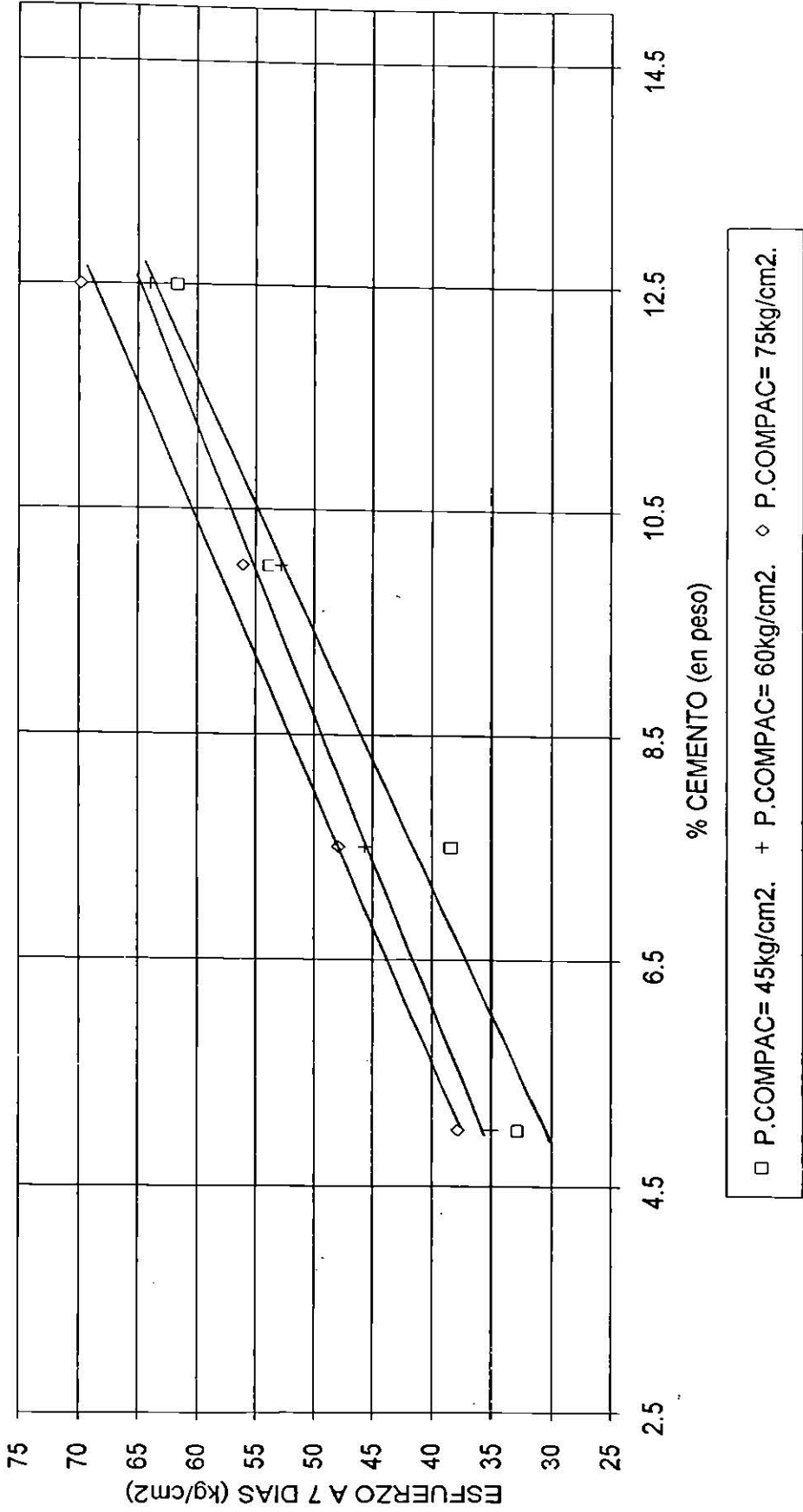
HUM. INIC.=3.7%.

NOMENCLATURA	ALTURA	PESO	P. VOL.	CARGA	ESFUERZO
	CM	GR	KG/M3	KG	KG/CM2
5-2 (1)	13.9	1096.3	2049.41	2735.0	71.068
5-2 (2)	14.1	1095.9	2019.60	2150.0	55.867
5-2 (3)	14.2	1095.9	2005.38	2235.0	58.075
PROMEDIO					61.670
5-3 (1)	14.0	1096.5	2035.14	2325.0	60.414
5-3 (2)	14.1	1102.0	2030.84	2660.0	69.119
5-3 (3)	14.1	1100.0	2027.16	2410.0	62.623
PROMEDIO					64.052
5-4 (1)	13.8	1091.0	2054.28	2775.0	72.107
5-4 (2)	13.9	1100.7	2057.63	2735.0	71.068
5-4 (3)	14.0	1098.1	2038.11	2550.0	66.260
PROMEDIO					69.812

GRAFICA IV-3 CARGA MAXIMA DE COMPACTACION VS ESFUERZO DE COMPRESION PARA DISTINTOS CONSUMOS DE CEMENTO. SUELO VILLA GARCIA.



GRAFICA IV-4 CONSUMO DE CEMENTO VS ESFUERZO DE COMPRESION. SUELO VILLA GARCIA.



4.3 Conclusiones

En las gráficas, podemos observar que hay una relación lineal para cada contenido de cemento, al aumentar la carga de compactación aumenta el esfuerzo.

APODACA V. DE GARCIA V. DE JUAREZ

Incremento de resistencia en kg/cm ² por cada 1 % de incremento en el consumo de cem.	3	3.5	2
--	---	-----	---

Incremento por cada 15 kg/cm ² de incremento en la carga de fabricación.	7	6	4
---	---	---	---

INDICE PLASTICO	8.4	10.9	15.0
-----------------	-----	------	------

De la Tabla anterior podemos concluir, que en general, a menor índice plástico del suelo, mayor será el incremento de resistencia a la compresión en el suelo-cemento, y esto se explica debido a que un suelo, poco plástico, tiene poca resistencia por falta de cementante propio y se ve beneficiado con los incrementos en el consumo de cemento.

Hay un valor óptimo de índice plástico próximo a 10.9 para lograr máximo incremento de resistencia al aumentar el consumo de cemento.

Bibliografía capítulo 4.

- (1) Suelo-Cemento.
IMCYC, 1972.
Rodolfo Avitia G.
- (2) Memoria del 2do. Seminario Latinoamericano sobre Construcción de Viviendas Económicas. Vol. Materiales.
Monterrey, N. L. Octubre 4, 5 y 6 de 1982.
El Suelo-Cemento en la autoconstrucción de vivienda.
Moema Rivas Silva.
- (3) Suelo-Cemento.
IMCYC, 1972.
Rodolfo Avitia G.
- (4) Memoria del 2do. Seminario Latinoamericano sobre Construcción de Viviendas Económicas. Vol. Materiales.
Monterrey, N. L. Octubre 4, 5 y 6 de 1982.
El Suelo-Cemento en la autoconstrucción de vivienda.
Moema Rivas Silva.

Capítulo 5

Pérdidas de material en el suelo-cemento como medida de durabilidad.

El objetivo de esta prueba es determinar las pérdidas de material en el suelo-cemento debido a ciclos humedad, secado, raspado y cambios volumétricos producidos por humedecido y secado, en especímenes endurecidos de suelo-cemento, como una medida de la durabilidad

5.1 Introducción

La resistencia al ataque del intemperismo, es la propiedad más crítica en la durabilidad de bloques de suelo-cemento y por lo tanto, es el criterio básico para determinar su calidad.

Se han desarrollado, dos métodos de ensayos de laboratorio para simular el intemperismo en forma acelerada, uno se llama método de prueba estándar para Humedecido y Secado de Mezclas de Suelo-Cemento Compactado ASTM D 559(1) y el otro "ciclos de congelación-deshielo de mezclas de suelo cemento compactado" ASTM D 560(1).

Estos ensayos fueron aprobados por la ASTM en 1944 y debido al éxito obtenido con ellos, en 1957 se revisaron y se incorporaron todas las experiencias logradas durante los 13 años que habían transcurrido.

5.2 Procedimiento de ensaye

Se ha desarrollado un método para simular el intemperismo en forma acelerada llamado "ciclos de saturación secado de mezclas de suelo cemento compactado", ha sido modificado por Asociación Brasileira de Cemento Portland (ABCP) para aplicarse a mamposterías ya que el método ASTM D559 es aplicable a pavimentos.

El procedimiento detallado del ensaye ASTM D559 se incluye en el apéndice A.

Los pasos más importantes del procedimiento son los siguientes:

Después de determinar el máximo peso volumétrico seco y el contenido de humedad óptimo de la mezcla de suelo cemento, se fabrican 2 especímenes para cada consumo de cemento.

El método de fabricación es idéntico al utilizado en el ensaye ASTM D 1633 para comportamiento de la resistencia a la compresión.

Al final de los 7 días de haber sido fabricados y curados los especímenes en una atmósfera de alta humedad >95%, se procede de la siguiente forma:

- 1.- Se sumergen los especímenes dentro de agua potable y a la temperatura ambiente durante 5 horas.
- 2.- Se colocan los especímenes en un horno a una temperatura de 71 °C durante 24 horas.
3. Se sacan del horno y se someten a un raspado, que consiste en raspar dos veces en el mismo lugar con un cepillo de alambre (detalles de este cepillo en la norma ASTM: D559) para quitar todo el material superficial que se ha ablandado durante el proceso de saturación secado. Cada pasada, se deberá dar con un movimiento firme y aplicando una presión de 1.360 kg.. Se requieren de 18 a 20 pasadas, para efectuar el raspado dos veces en toda la superficie lateral del espécimen y 4 pasadas por cada base del espécimen.
- 4.- Todo el procedimiento anterior (1,2 y 3) se repite 6 veces. Según modificación de ABCP.
- 5.- Después de los 6 ciclos de saturación-secado-raspado, los especímenes se ponen a secar adentro de un horno a 110 °C de temperatura, hasta obtener peso constante y se obtienen sus pesos secos.

5.3 Resultados

REGISTRO DE RESULTADOS PARA CAMBIOS DE VOL. MAX. Y MAXIM CONTENIDO DE HUMEDAD DURANTA LA PRUEBA DE ENSAYE DE SATURACION-SECADO.

REGISTRO DE RESULTADOS PARA CAMBIOS DE VOL. MAX. Y MAX. CONTENIDO DE HUMEDAD DURANTA LA PRUEBA DE ENSAYE DE SATURACION-SECADO.

REGISTRO DE DATOS DE VILLA JUAREZ.

ESPECIMEN	ALTU.	diam.	peso	vol.	% vol.	humedad
2-2 (1)	14.25	7.04	1175.5	554.7	100	20.12
2-3 (1)	14.263	7.05	1185.8	556.8	100	19.82
2-4 (1)	13.971	7.05	1169.7	545.4	100	19.26
SEGUNDO CICLO						
2-2 (1)	14.3	6.99	1168.5	548.8	98.9	19.4
2-3 (1)	14.2	6.99	1110.9	544.9	97.9	12.26
2-4 (1)	13.9	6.96	1100	528.8	97	12.15
TERCER CICLO						
2-2 (1)	14.21	7	1025	546.9	98.6	4.739
2-3 (1)	14.264	6.996	1038.6	548.3	98.5	4.949
2-4 (1)	13.94	7.01	1029	538	98.6	4.912
CUARTO CICLO						
2-2 (1)	14.22	7.01	1017.5	548.8	98.9	3.973
2-3 (1)	14.22	7.01	1030	548.8	98.6	4.08
2-4 (1)	13.94	7.01	1021.1	538	98.6	4.107
QUINTO CICLO						
2-2 (1)	14.214	7.02	1019.7	550.2	99.2	4.198
2-3 (1)	14.2	7.04	1031.3	552.7	99.3	4.212
2-4 (1)	13.92	7	1021.8	535.7	98.2	4.178
SEXTO CICLO						
2-2 (1)	14.24	7.01	1023.1	549.6	99.1	4.545
2-3 (1)	14.288	7.02	1034.6	553	99.3	4.545
2-4 (1)	14.024	7.02	1025.4	542.8	99.5	4.545

REGISTRO DE DATOS DE VILLA DE GARCIA.

ESPECIMEN	ALTU.	diam.	peso	vol.	% vol.	humedad
3-2 (1)	14.863	7.04	1180	578.6	100	29.14
3-3 (1)	14.573	7.04	1168.5	567.3	100	19.08
3-4 (1)	13.642	7.05	1104.7	532.5	100	14.08
SEGUNDO CICLO						
3-2 (1)	14.75	6.88	1098.8	548.4	94.8	20.25
3-3 (1)	14.5	6.88	1087.8	539.1	95	10.85
3-4 (1)	14.6	6.92	1033.5	549.1	103	6.724
TERCER CICLO						
3-2 (1)	14.22	6.962	1116.7	541.3	93.6	22.21
3-3 (1)	14.501	6.996	1012.8	557.4	98.3	3.21
3-4 (1)	13.542	6.98	1021.3	518.2	97.3	5.464
CUARTO CICLO						
3-2 (1)	14.216	6.974	1006.1	543	93.9	10.1
3-3 (1)	14.5	6.972	1002.9	553.6	97.6	2.201
3-4 (1)	14.53	7	1010.5	559.2	105	4.349
QUINTO CICLO						
3-2 (1)	14.728	6.98	1009.9	563.6	97.4	10.52
3-3 (1)	15.786	7.06	1022.9	618	109	4.239
3-4 (1)	13.524	6.996	1002.9	519.9	97.6	3.564
SEXTO CICLO						
3-2 (1)	13.576	7.002	955.3	522.8	90.4	4.545
3-3 (1)	15.85	7.028	1025.9	614.9	108	4.545
3-4 (1)	14.78	6.988	1012.4	566.9	106	4.545

REGISTRO DE RESULTADOS DE ENSAYE DE PERDIDAS DE
 DE SUELO-CEMENTO EN % DEL ESPECIMEN No. 2.
 SUELO VILLA DE JUAREZ.

ESPECIMEN	PESO INC	H. O.	P. SECO	P. FINA	P.F.CO	P.T.
2-2	1170	14.5	1021.8	979.5	951	6.94
2-3	1199	15	1042.6	1022	993	4.804
2-4	1165.1	15	1013.1	1001	972	4.085

SUELO VILLA DE GARCIA.

ESPECIMEN	PESO INC	H. O.	P. SECO	P. FINA	P.F.CO	P.T
3-2	1185.8	18	1004.9	988.7	974	3.068
3-3	1144.3	18	969.75	958.2	944	2.651
3-4	1127.7	18.7	950.04	955.5	941	0.912

CLAVE DE ABREVIATURAS

Peso inicial	PESO INC
Humedad óptima	H. O.
Peso seco	P. SECO
Peso final	P. FINA
Peso final corregido	P.F. CO
Pérdida total	P.T.

5.4 CONCLUSIONES DE LOS ENSAYES POR HUMEDECIDO Y SECADO DE LAS MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTADO.

Se fabricaron especímenes de Suelo-Cemento con suelo de Villa de Juárez y Villa de García con los siguientes consumos de cemento: 5%, 7.5% y 10%.

El suelo de Villa de Juárez, tiene una clasificación según la SUCS como Cl (arcilla inorgánica de baja compresibilidad), las pérdidas de Suelo-Cemento en el ciclo de humedecido y secado no deben de ser mayores a 7% de acuerdo a la norma SDCP para suelos arenosos.

En nuestro caso, el suelo fabricado con un 2.5% de cemento, ha tenido una pérdida del 6.93%, por lo que cumple con la especificación. El Suelo-Cemento fabricado con 7.5 y 10% de cemento tienen pérdidas de 4.8 y 4.08 % respectivamente, por lo que están ampliamente dentro de la norma.

Con lo que respecta al suelo de Villa de García, se tienen las siguientes pérdidas: 3.1, 2.65 y 0.91% para los consumos de cemento de 5%, 7.5% y 10% respectivamente, por lo que cumplen también con la norma holgadamente. El suelo esta clasificado según la SUCS como Cl.

Esta prueba, mide la resistencia al intemperismo, propiedad crítica en la estabilización de los suelos y por tanto criterio básico para determinar la calidad del Suelo-cemento.

En el caso de los suelos anteriores, se pueden usar mezclas de suelo-cemento con un contenido de cemento del 2.5 % y obtener una buena resistencia al intemperismo, este criterio es muy útil, ya que al ser una propiedad crítica, se pueden fabricar bloques de suelo-cemento y obtener buenos resultados en cuanto a durabilidad.

Bibliografía capítulo 5.

- (1) American Society for Testing and Materials (ASTM) 1993 Annual Book of ASTM Standards. Section 4: Construction, Volume 4.08: Soil and Rock; Dimension Stone; Geosynthetics. Copyright. 1993 ASTM.

Capítulo 6

Influencia del mezclado en la resistencia a la compresión de los bloques de suelo-cemento.

6.1 Teoría

El objeto del mezclado es distribuir uniformemente las partículas de suelo-cemento y humedad o agua hasta lograr una masa uniforme.

Independientemente de la mezcladora que se emplee, es importante que haya una suficiente homogenización de los materiales en las diferentes partes de la cámara, a fin de producir un suelo-cemento uniforme.

En la obra suele existir la tendencia a mezclar lo más rápido posible, por lo que es importante saber cual es el tiempo mínimo de mezclado necesario para obtener un suelo-cemento de composición uniforme y, por lo tanto, de resistencia adecuada. El tiempo varía según el tipo de mezcladora y, hablando en sentido estricto, no es el tiempo lo que importa como criterio de un mezclado adecuado, sino el número de revoluciones de la mezcladora. Por lo general son suficientes alrededor de 20 revoluciones.

6.2 PROCEDIMIENTO DE ENSAYE.

Para este ensaye se han escogido 3 tipos de mezclado:

- 1.- Mezcladora para mezclas húmedas.
- 2.- Mezcladora de tambor.
- 3.- Manual.

Descripción de mezcladora para mezclas húmedas.

Una mezcladora para mezclas húmedas consiste en un tambor cilíndrico estático, este tambor tiene ranuras de 1.3 cms. de espesor y un ancho de 2.5 cms. en sus

paredes verticales así como en la base. Sus aspas, como paletas, son dos y están en posiciones encontradas, a 180° entre sí; una para levantar el material y la otra para bajarlo dentro del mismo tambor, siendo accionadas por un eje central. Al introducir el material, primero se deja que se homogenice el cemento y el suelo, después se va incrementando el agua, y las aspas al pasar por sobre las ranuras, tanto verticales como horizontales, disgregan los grumos que se van formando y así uniformiza la humedad.

Descripción de mezcladora común.

Es una mezcladora de tambor, usada para concreto. De antemano se sabía que esta mezcladora no era para este tipo de mezcla pero se ha querido probar por la relativa facilidad para conseguirla y así observar la diferencia de resultados.

Para este ensaye, se escogió el suelo de Villa de Garcia, por haberse obtenido con éste las más altas resistencias, en comparación con los otros 2 suelos en estudio.

Se hizo la mezcla con el 10 % de cemento. Para verificar el grado de homogenización del cemento, suelo y agua, el consumo es mas bien alto, pero se decidió así, para en un momento dado compararlo con resultados de bloques de concreto.

El proporcionamiento fue el siguiente:

Humedad óptima del suelo-cemento = 19 %.

Humedad inicial del suelo = 3.7 %.

30 kg de suelo que pasa por la malla No. 4.

3 kg de cemento.

5 lt de agua.

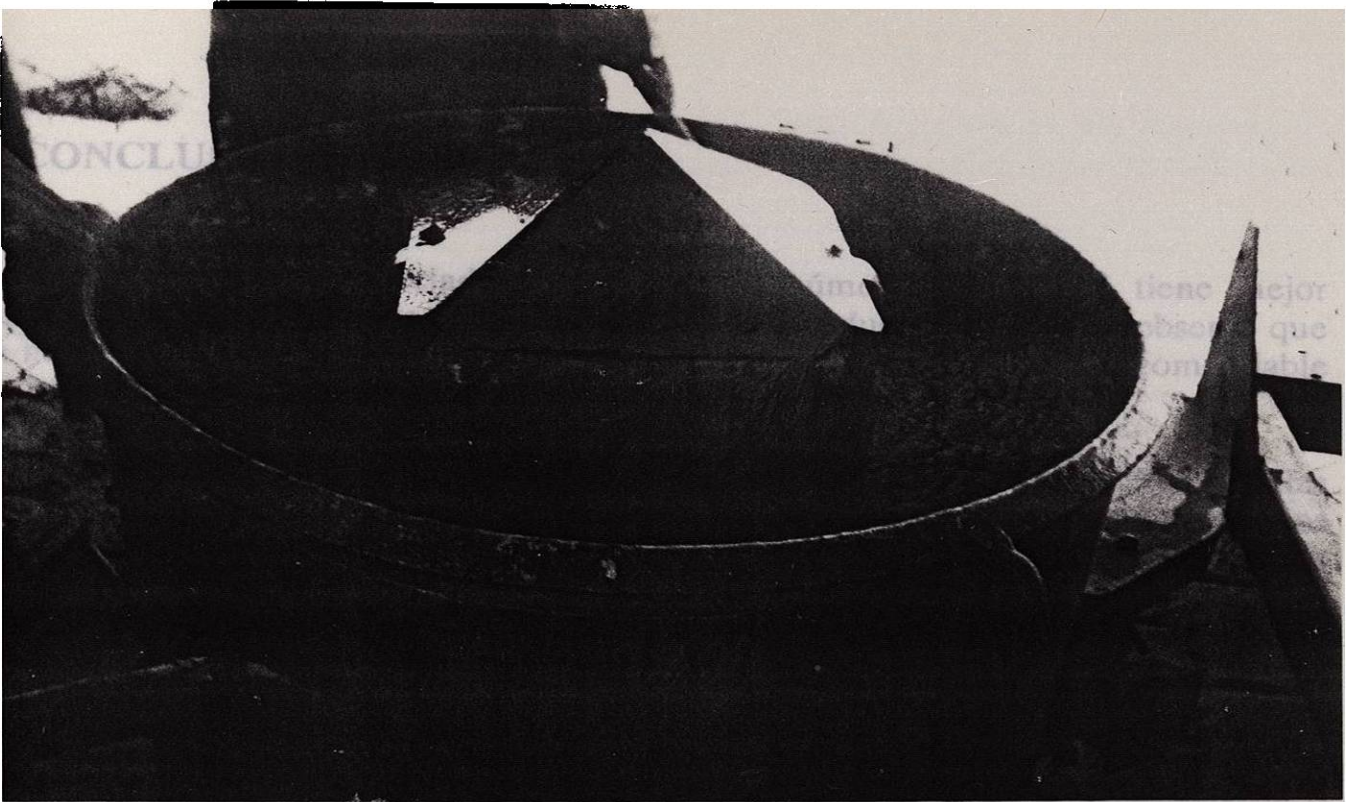
Con el anterior proporcionamiento se procedió a hacer las tres mezclas, 1 en la mezcladora de mezclas húmedas, otra en la mezcladora de trompo y la última a mano.

Una vez obtenidas las mezclas, se procedió a hacer con cada mezcla 3 bloques con las siguientes dimensiones: 14 cm de ancho, 28 cm de largo y 9 cm de altura, con una presión de manufactura de 60 kg/cm². Una vez extraídos de la prensa, fueron colocados en el cuarto de curado por 7 días y ensayados a la compresión.

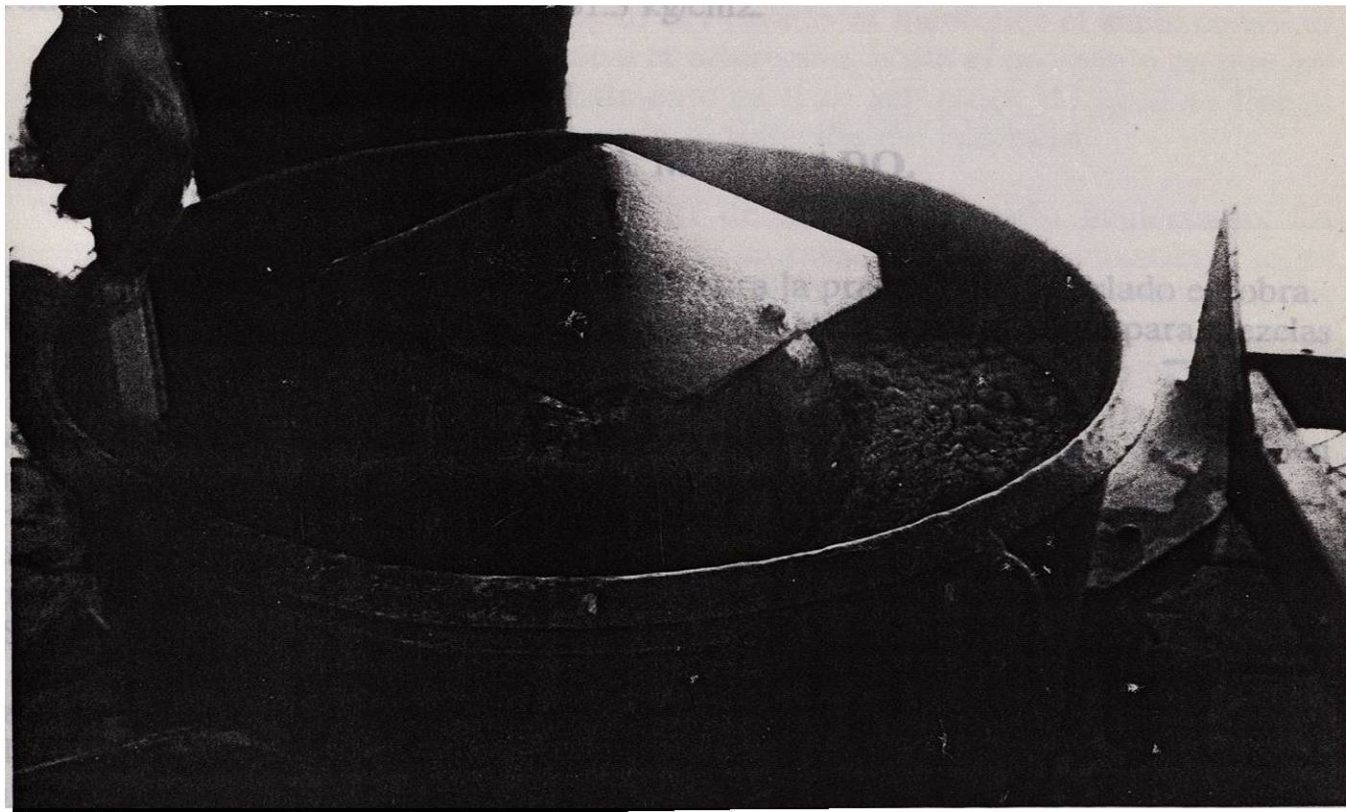
RESULTADOS:

Resistencia a los 7 días.

Mezcladora Mezclas húmedas	64.45 kg/cm ² .
Mezcladora Trompo.	54.80 kg/cm ² .
Mezclado a mano.	61.30 kg/cm ² .



Fotografía 5. Mezcladora para mezclas húmedas



Fotografía 6. Mezcladora para mezclas húmedas

6.3 CONCLUSIONES

Se observa que la mezcladora para mezclas húmedas es la que tiene mejor eficiencia y su gran influencia en la calidad final del producto; también se observó que esta mezcladora no dispersa totalmente los aglomerados, lo cual sería recomendable para una buena homogenización.

En el mezclado en el trompo, se observa que en la mezcla en seco se homogeniza bien, pero al agregarle el agua, se comienza la formación de aglomerados y pelets, los cuales persisten aunque se siga el tiempo de mezclado, con la mezcla se hicieron los bloques y ha resultado un promedio de resistencia a la compresión de 54.8 kg/cm²; lo cual indica que a pesar de no ser una mezcladora para este fin ha dado una eficiencia del 85 % con respecto a la mezcladora para mezclas húmedas.

En el mezclado a mano es importante definir el procedimiento, primero la buena homogenización de suelo y cemento sin agua, una vez homogenizado se incrementa el agua en muy pequeñas proporciones de forma que no se hagan aglomerados, el proceso es lento ya que hay que ir deshaciendo los aglomerados que se forman con la pala, hasta llegar al contenido óptimo de humedad; aquí también fueron predominantes los aglomerados pero de menor dimensión de los que aparecieron con el trompo, dando una compresión de 61.3 kg/cm².

6.4 RECOMENDACIONES PARA MEZCLADO.

Se propone una serie de recomendaciones para la práctica del mezclado en obra.

Lo primero que podemos recomendar es el uso de una mezcladora para mezclas húmedas.

Al hacerse el mezclado, cuidar de que el suelo y el cemento secos queden bien homogenizados, esto se puede apreciar al ver el color uniforme de la mezcla; en el incremento de agua, es recomendable que sea por aspersion con gotas muy finas para evitar en todo lo posible la formación de aglomerados, ya que estos provocan una distribución no uniforme de la humedad.

Sí no se cuenta con el equipo necesario para el mezclado, se puede hacer a mano, los aglomerados se pueden deshacer cribando la mezcla en una malla de 1/4; el mezclado debe ser lo más rápido posible, por lo que se pide se hagan lotes pequeños de hasta 60 kgs ya que el cemento comienza a fraguar al poco tiempo, al reaccionar con el agua; sí se tiene solo una mezcladora de trompo, una vez cumplido el mezclado deshacer los aglomerados con una criba de 1/4 y mezclar a mano al final.

Capítulo 7

Influencia de la madurez en la resistencia a la compresión.

7.1 Teoría

Para poder lograr un suelo-cemento de buena calidad, la fabricación adecuada de la mezcla deberá ir seguida de un curado, en un medio ambiente propicio durante las edades tempranas del fraguado. Se llama curado al procedimiento que se utiliza para promover la hidratación del cemento, mediante humedad y cierta temperatura.

En términos mas específicos, el objeto del curado es mantener el suelo cemento saturado, o lo mas próximamente posible a la saturación, hasta el momento en que los espacios de cemento fresco que originalmente estaban saturados de agua se llenen hasta un nivel deseado con los productos de hidratación del cemento.

No alcanzar la resistencia de diseño es debido a un curado inadecuado. La necesidad de curar proviene del hecho de que la hidratación del cemento solo se logra en capilares llenos de agua. Por eso es necesario evitar la pérdida de humedad de los capilares causada por la evaporación. Además, el agua que se pierde por autodesecación se tiene que reemplazar con agua del exterior, o sea se debē de hacer posible el ingreso del agua hacia el interior del suelo-cemento, si se logra esto habrá mas hidratación y conducirá a un suelo-cemento con mayor resistencia y mayor impermeabilidad.

La temperatura durante el curado también controla la velocidad a la que progresa la reacción de hidratación y , en consecuencia, afecta el desarrollo de resistencia en el suelo-cemento, a mayor temperatura mayor velocidad en la hidratación del cemento y por tanto mayor desarrollo de la resistencia.

Puesto que la resistencia del suelo-cemento depende tanto de la edad como de la temperatura de curado, se puede señalar que la resistencia es función de la sumatoria del producto de los intervalos de tiempo por las temperaturas, y a esta sumatoria se le llama madurez.

temperatura de curado, se puede señalar que la resistencia es función de la sumatoria del producto de los intervalos de tiempo por las temperaturas, y a esta sumatoria se le llama madurez.

Para cada valor de Madurez corresponde un valor de resistencia a la compresión. Para distintos procedimientos de curado, el mismo valor de madurez se logra a tiempos distintos.

Para determinar la eficacia del curado, se estudian dos procedimientos de curado, uno estándar ASTM 1632 y el otro con vapor.

7.2 PROCEDIMIENTO DE FABRICACION DE BLOQUES UTILIZADOS EN ESTE ESTUDIO.

Con un consumo de cemento predeterminado se procedió a fabricar 12 bloques de suelo-cemento, 9 para curarse según el procedimiento estándar D1632 ASTM para ensayarse a edades de 5, 6 y 14 días y 3 para curarlos a vapor en un ciclo de 8 horas.

PROPORCIONAMIENTO:

SUELO DE VILLA DE GARCIA

Humedad óptima del suelo-cemento = 19 %.

Humedad inicial del suelo = 3.7 %.

Suelo = 80 kgs.

Cemento = 8 kgs.

Agua = 13.5 lts.

Se procedió a hacer el mezclado con una mezcladora para mezclas húmedas y la fabricación de los bloques con una prensa y una carga de compactación de 60 kgs/cm².

7.3 ENSAYE

El ensaye de la resistencia a la compresión se hizo de acuerdo a la norma D 1633 ASTM.

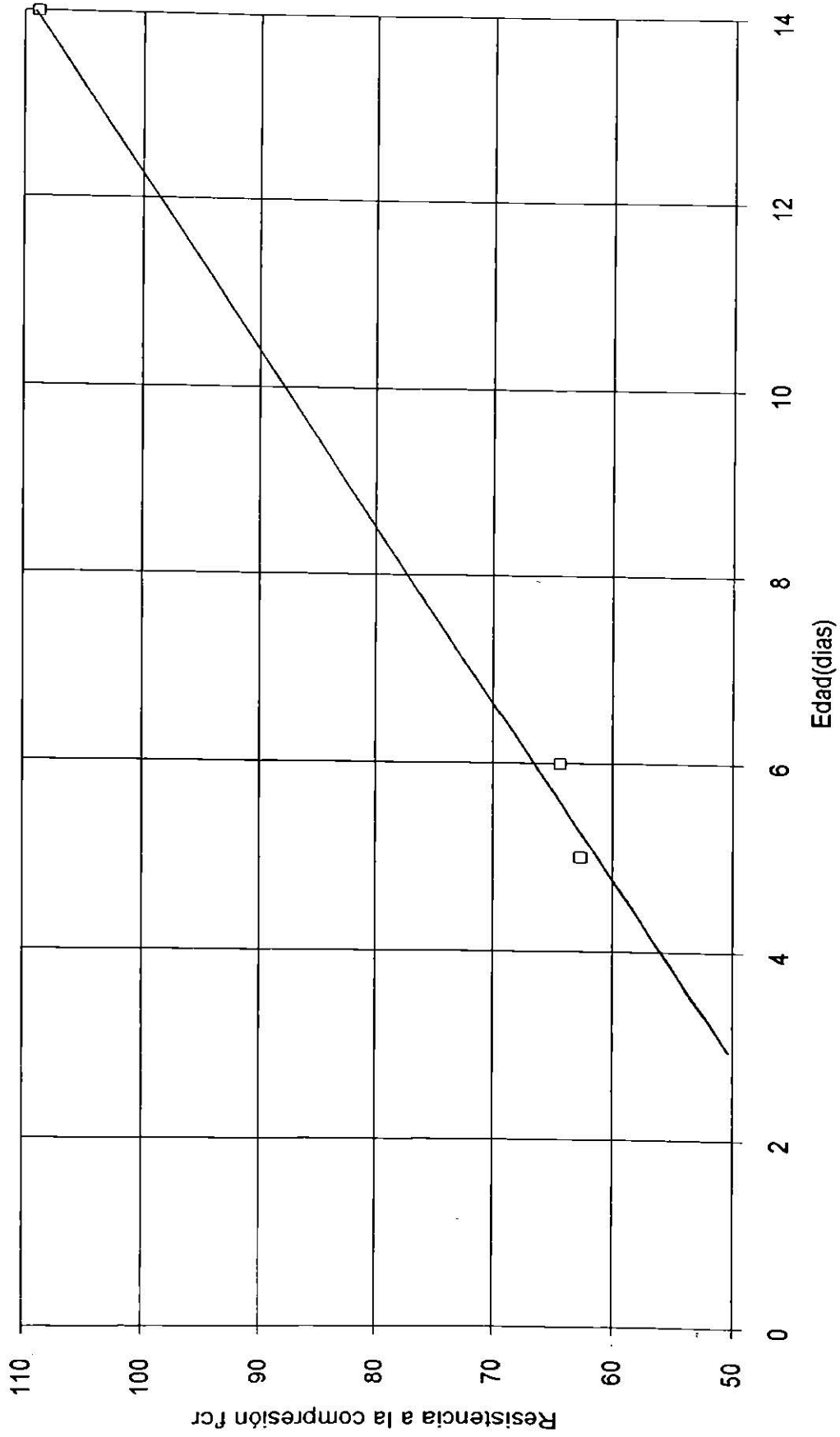
7.4 RESULTADOS DE ENSAYE A COMPRESION DE BLOQUES DE SUELO-CEMENTO

El ensaye de la resistencia a la compresión se hizo de acuerdo a la norma D 1633 ASTM.

Edad días	Carga de compresión Kgs.	Esfuerzo kg/cm2.
5	27,700	70.76
5	27,000	68.90
5	19,000	48.46
PROMEDIO		62.70
6	22,500	57.40
6	27,500	70.15
6	25,800	65.81
PROMEDIO		64.45
14	47,000	119.90
14	43,000	109.70
14	38,000	96.90
PROMEDIO		108.80
CURADO VAPOR (ciclo 8 hrs.)		61.22
C. V.		67.35
C. V.		58.70
PROMEDIO		62.40

Los resultados de los ensayes a la compresión se aprecian en la gráfica VII-1.

Grafica VII-1 Edad vs resistencia a la compresión para bloques de suelo cemento curados segun ASTM 1632



7.5 Conclusiones de la madurez

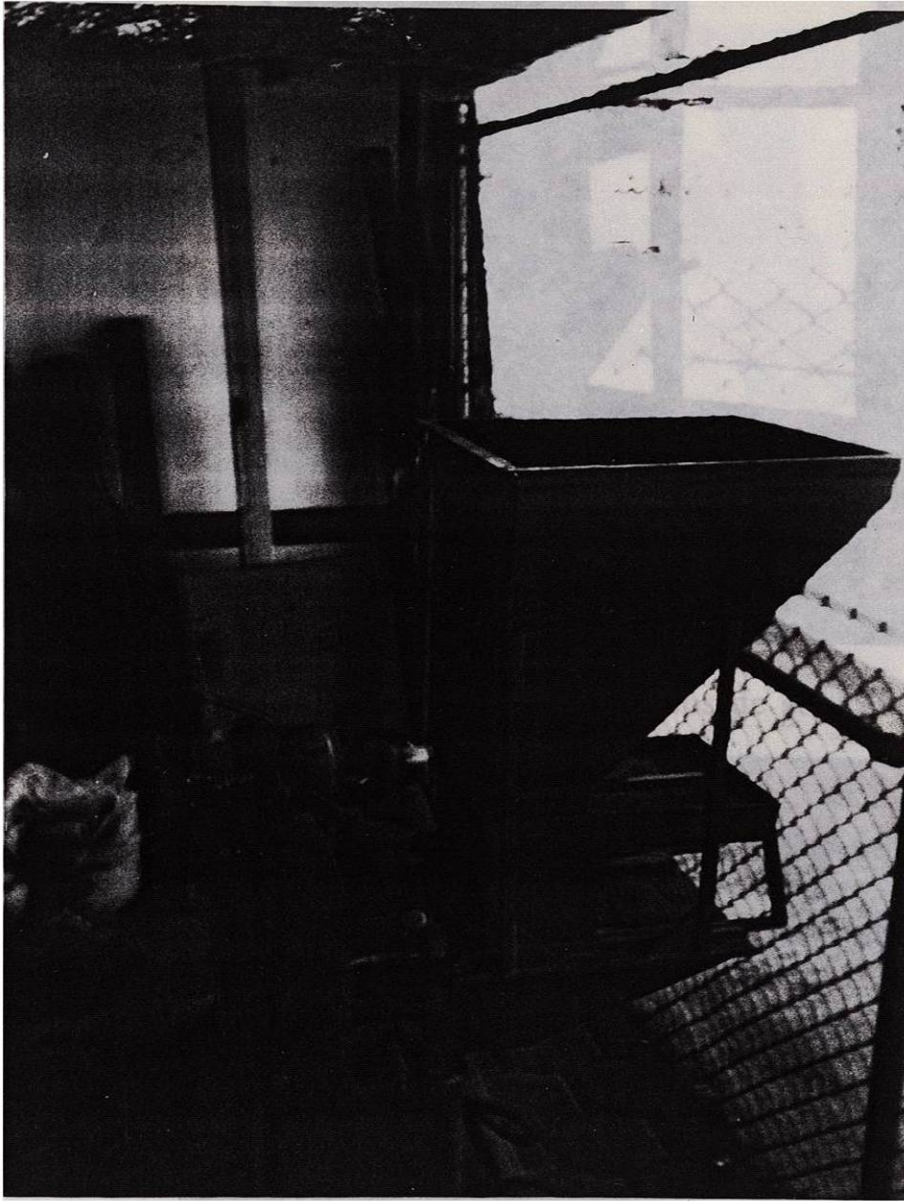
Al analizar la gráfica VII-1, de resistencia a la compresión contra edad de bloques de suelo-cemento, se observa la influencia del curado, varió la resistencia de 5 a 14 días, de 60 a 109 kg/cm² con un incremento de 49 kg/cm².

La resistencia obtenida por el curado a vapor fué de 62.40 Kg/cm², al entrar con este valor a la gráfica, corresponde a una edad de 5 días de curado por lo que podemos concluir que un ciclo de curado a vapor de 8 horas, corresponde a 5 días de curado estándar D1633 ASTM.

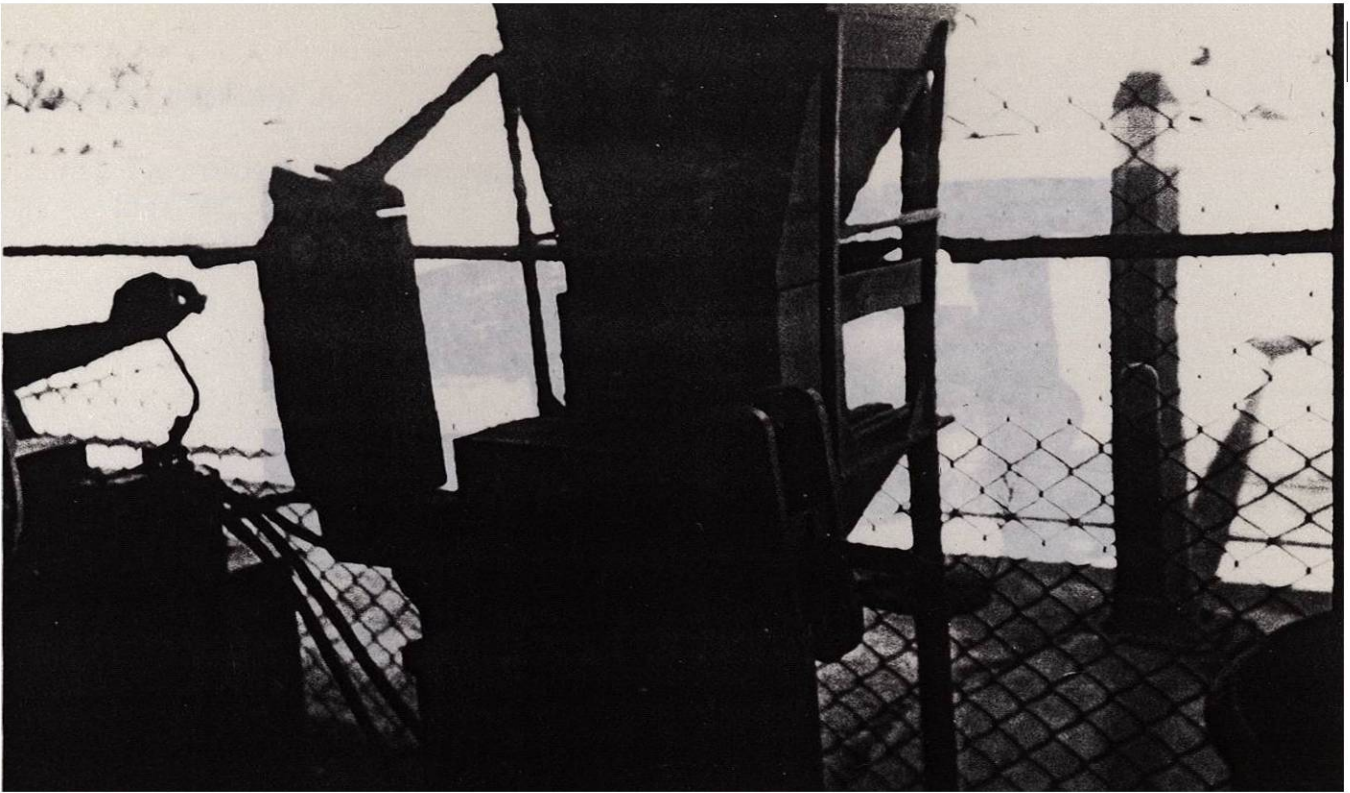
Los correspondientes resultados con el mismo proporcionamiento en cilindros según ASTM 1632 con curado a 7 días, dieron un valor de 53 kg/cm². lo cual indica la influencia en la forma y dimensiones de los especímenes en la resistencia a la compresión.

En los bloques se obtiene una resistencia mayor y para la misma resistencia de 53 kg/cm² se requiere en los bloques un curado de solamente 3 días.

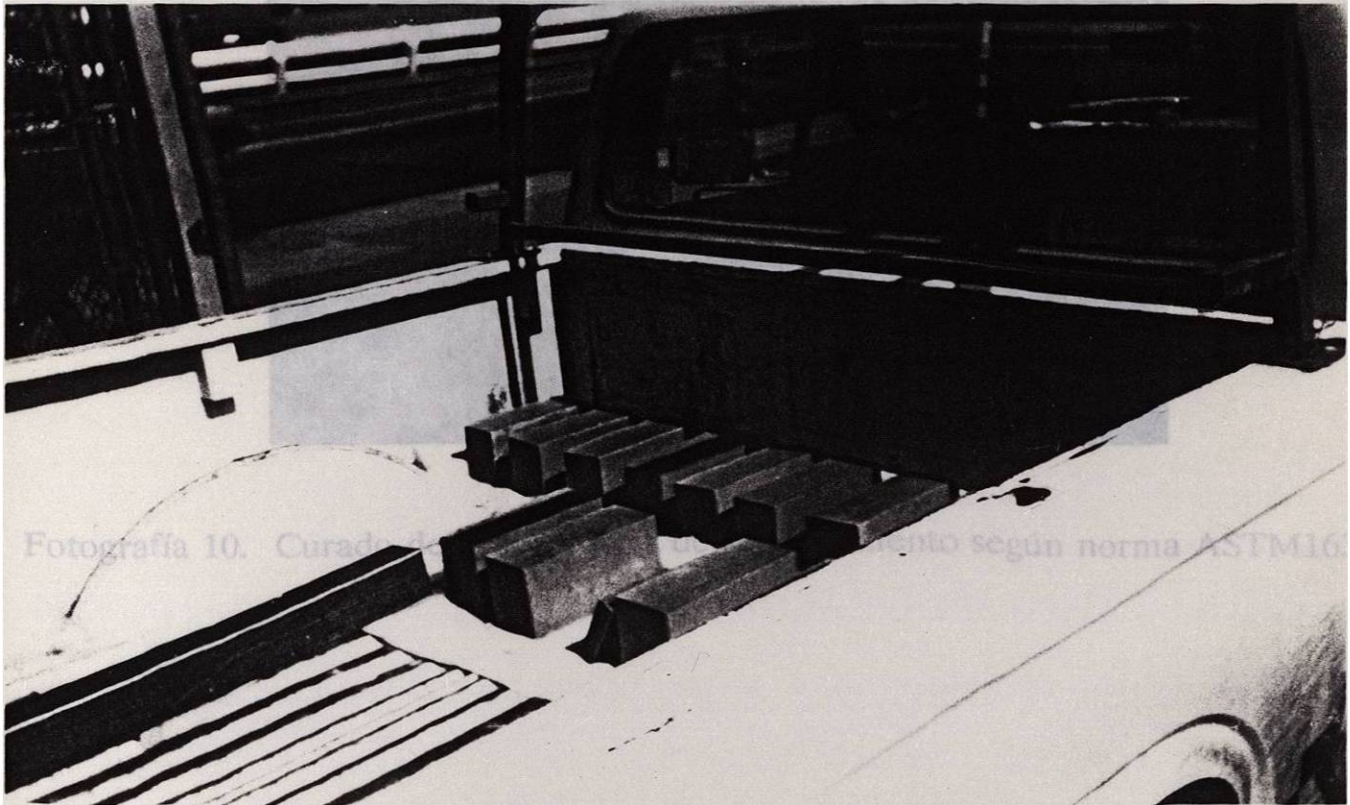
Indudablemente que un factor importante en la selección del proporcionamiento para una resistencia deseada, es el tiempo de curado e implica un estudio económico para decidir el tiempo de curado para una resistencia y proporcionamiento dado.



Fotografía 7. Máquina prensa para fabricar los bloques de suelo-cemento



Fotografía 8. Máquina prensa para fabricar los bloques de suelo-cemento



Fotografía 9. bloques de suelo-cemento



Fotografía 10. Curado de especímenes de suelo-cemento según norma ASTM1632

Bibliografía capítulo 7.

- (1) Tecnología del Concreto.
IMCYC. Tomo II.
A. M. Neville.

Capítulo 8

Conclusiones Generales

Una vez realizados los estudios para estos suelos, podemos llegar a concluir, la factibilidad del uso del suelo-cemento como una muy buena alternativa para la fabricación de bloques.

Podemos empezar comparando las resistencias a la compresión logradas con el suelo-cemento contra la de otros materiales de construcción.

La resistencia a la compresión simple a ruptura, en Kg/cm² mínimo para un ladrillo tipo A de arcilla recocida, hecho a mano es de 70 Kg/cm², para el tipo B es 60 Kg/cm² y para el tipo C es 50 Kg/cm² según la Dirección General de Normas de la SEcretaría de Comercio y Fomento Industrial. Para bloques de concreto huecos, la resistencia mínima de ruptura a la compresión es de 70 Kg/cm² para el tipo A-1, 60 Kg/cm² para el tipo A-2 y 40 Kg/cm² para el tipo B.(1)

En los bloques de suelo-cemento se llegó a obtener resistencias de hasta 109 kg/cm², con un consumo de cemento del 10% y curado estándar de 14 días, por lo tanto es posible obtener un bloque de suelo-cemento con un consumo intermedio de 7.5% y un buen curado se logra mejor las normas más exigentes de calidad en lo que a resistencia se refiere.

Es importante aclarar que no se trata de dar resistencia por superar a otros materiales, sino que la resistencia de diseño de los bloques deberá de estar regida por los esfuerzos a que serán sometidos en la construcción, de manera que no exista una resistencia mucho más alta que la necesaria para dicha edificación, y si hablamos de casa habitación podemos decir que no es necesario la mayoría de las veces alcanzar muy altas resistencias a la compresión debido a los bajos esfuerzos a los que es sometida la mampostería.

En una edificación de un hospital en Manaus Brasil, se utilizó un consumo del 6% de cemento, se ha extraído corazones 16 años después y se han encontrado resistencias de 26 a 33 Kg/cm²(2), y al juzgar por la importancia de este edificio podemos concluir

que no es necesario tener una resistencia demasiado alta para que una edificación resista satisfactoriamente.

En cuanto a la durabilidad, los especímenes de suelo-cemento han estado, aún con el menor consumo de cemento dentro de las normas brasileñas, y siendo los dos criterios anteriores los más importantes para definir la calidad. Los bloques de suelo-cemento pasaron las pruebas por lo que podemos hablar de su buena viabilidad de uso.

En cuanto a la economía, si hablamos de consumos bajos (5 % a 7.5 %) ésta compite con los materiales tradicionales en una zona donde existen otros materiales en abundancia, pero si nos ubicamos en una zona rural o donde la disponibilidad de arenas para la fabricación de bloques de concreto se hace difícil, el bloque de suelo-cemento abate los costos de manera considerable.

La forma geométrica que se le defina del bloque de suelo-cemento juega un papel fundamental en la economía de los costos, se propone que al bloque de suelo-cemento se le fabrique con unas muescas de forma que se traben macho y hebra entre sí en 2 direcciones, logrando con esto una mayor estabilidad de la mampostería y una reducción de hasta el 70 % de la mano de obra, al no ser necesario el junteo de los bloques.

De entre las ventajas que le podemos encontrar a este material podemos citar las siguientes:

- Buena durabilidad y buena resistencia al desgaste por lo que se puede usar sin recubrimiento.
- Es un material incombustible.
- Se aprovecha la materia prima de la región.
- Muy buen aislante térmico.
- No necesita proceso industrial para su fabricación.
- Su resistencia se incrementa con el tiempo, y a mayor humedad mayor resistencia.
- Mano de obra no calificada.
- Bloques machimbrados no requieren junteo (economía en mano de obra)

Es por ello, que debido a las bondades encontradas a lo largo de esta investigación y su comparación con otros materiales de construcción es bastante atractivo su uso para la construcción de casa habitación ya que es ideal para pequeñas obras.

Bibliografía capítulo 8.

- (1) Memoria del 2do. Seminario Latinoamericano sobre Construcción de Viviendas Económicas. Vol. Materiales.
Monterrey, N. L. Octubre 4, 5 y 6 de 1982.
El Suelo-Cemento en la autoconstrucción de vivienda.
Moema Rivas Silva.

- (2) Idem.

Bibliografía de Publicaciones utilizadas en esta Tesis.

- I-. Materials and Structures No. 112
Seismic Strength of adobe masonry
J. Vargas, J. Bariola, M. Bloundel, P. K. Metha
- II-. Materials and Structures No. 126 1988
Poro Structure and Frost Durabiling of Clay Bricks
W. Hansen, J. H. Kung
- III-. Materials and Structures No. 123
Effect of Rice Husk ash on the Propieties of Bricks made
from Fired Lateritic Soil-Clay Mix.
- IV-. Concrete Construction No. 8
Soil-Cement Construction
William G. Dinchock
- V-. Materials and Structures
Some Mechanical and Thermal Propieties of Clay Bricks for
the Jordan Valley Region
B. A. Jubran, S. M. Habali, M. A. S. Hamdam, I. O. Zaid
- VI-. Concrete Construction No. 1
Soil-Cement it's not Just for Highways any more
William G. Dinchock
- VII-. Concrete International, Desing and Construction V13
Jan 1993 pag. 53-55
Mixing Procedures for Soil-Cement
Muller E. Paul
- VIII-. Concrete Interntional V 13 Jan 1991
Soil-Cement. A Material whit many applications
Adaska, Wayne S.

Apéndice A
Norma ASTM

Standard Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures¹

This standard is issued under the fixed designation D 558; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

^{ε1} NOTE—Sections 10 and 11 were added editorially in September 1990.

These methods cover the determination of the relation between the moisture content and the density of cement mixtures when compacted before cement hydration is prescribed.

A 1/30-ft³ (944-cm³) mold and a 5.5-lb (2.49-kg) rammer dropped from a height of 12 in. (304.8 mm) are used in the methods, depending on soil gradation, are covered, as follows:

	Sections
Using soil material passing a No. 4 (4.75-mm) sieve. This method shall be used when 100 % of the soil sample passes the No. 4 sieve	5
Using soil material passing a 3/4-in. (19.0-mm) sieve. This method shall be used when part of the soil sample is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve	6

Referenced Documents

ASTM Standards:

- Specification for Portland Cement²
- Specification for Blended Hydraulic Cements²
- Test Methods for Wetting-and-Drying Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures³
- Test Methods for Freezing-and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures³
- Test Methods for Moisture-Density Relations of Soils and Soil-Aggregate Mixtures Using 5.5-lb (2.49-kg) Rammer and 12-in. (305-mm) Drop³
- Test Methods for Calibration of Laboratory Mechanical-Rammer Soil Compactors³
- Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes⁴

Significance and Use

These tests determine the optimum moisture content and maximum density to be used for molding soil-cement specimens in accordance with Methods D 559 and D 560.

NOTE 1—Since these tests are used in conjunction with Methods D 559 and D 560 and the criteria referenced therein, the test differs in

several aspects from Test Methods D 698. These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil Compaction and are the direct responsibility of Subcommittee D18.15 on Stabilization of Soils.

This standard was approved Oct. 1, 1982. Published December 1982. Originally published as D 558 - 38. Last previous edition D 558 - 57 (1976).

Reapproved by the Book of ASTM Standards, Vols 04.01 and 04.02.

Reapproved by the Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

Reapproved by the Book of ASTM Standards, Vols 04.01, 04.06, and 14.02.

several aspects from Test Methods D 698.

4. Apparatus

4.1 *Mold*—A cylindrical metal mold having a capacity of $1/30 \pm 0.0004$ ft³ (944 ± 11 cm³) with an internal diameter of 4.0 ± 0.016 in. (101.60 ± 0.41 mm) and conforming to Fig. 1 to permit preparing compacted specimens of soil-cement mixtures of this size. The mold shall be provided with a detachable collar assembly approximately $2\frac{1}{2}$ in. (63.5 mm) in height. The mold may be of the split type consisting of two half-round sections or section of pipe with one side split perpendicular to the pipe circumference and that can be securely locked in place to form a closed cylinder having the dimensions described above. The mold and collar assembly shall be so constructed that it can be fastened firmly to a detachable base (Fig. 1).

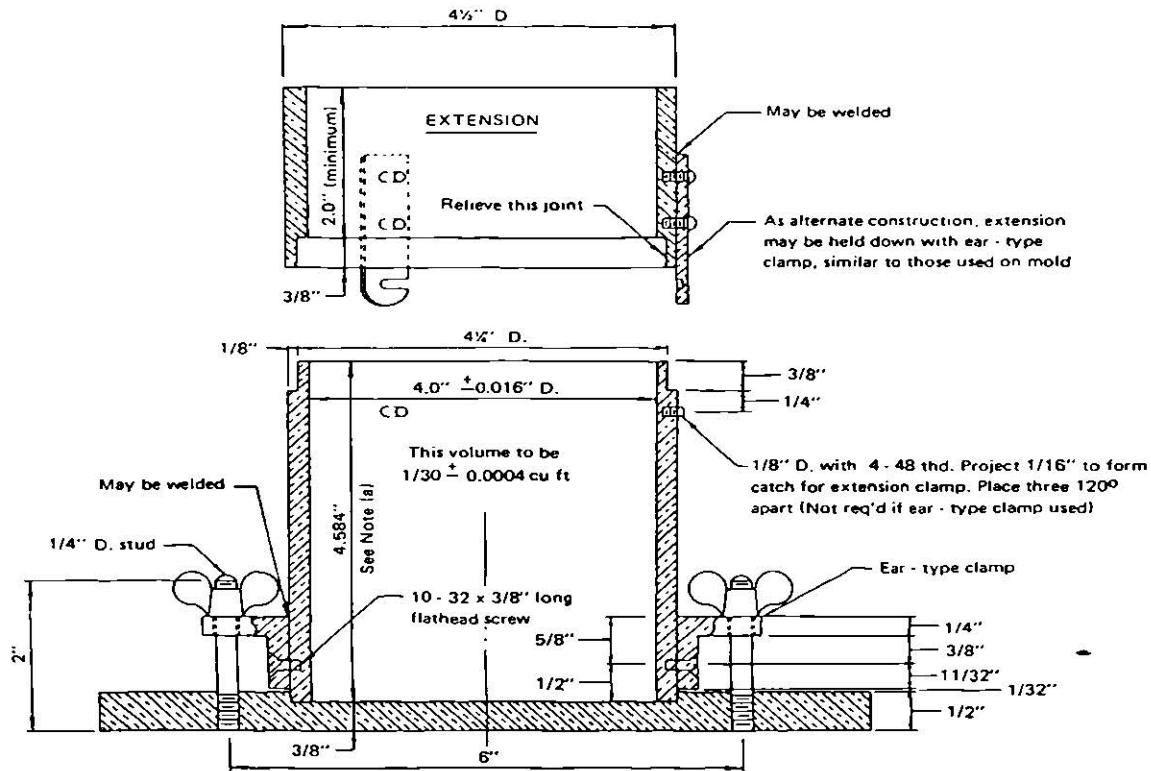
4.2 Rammer:

4.2.1 *Manual Rammer*—A manually operated metal rammer having a 2.0 ± 0.005 -in. (50.80 ± 0.13 -mm) diameter circular face and weighing 5.5 ± 0.02 lb (2.49 ± 0.01 kg). The rammer shall be equipped with a suitable guidesleeve to control the height of drop to a free fall of $12.0 \pm 1/16$ in. (304.8 ± 1.6 mm) above the elevation of the soil-cement. The guidesleeve shall have at least four vent holes not smaller than $3/8$ in. (9.5 mm) spaced 90° apart and located with centers $3/4 \pm 1/16$ in. (19.0 ± 1.6 mm) from each end and shall provide sufficient clearance that free-falls of the rammer shaft and head will not be restricted.

4.2.2 *Mechanical Rammer*—A mechanically operated metal rammer having a 2.0 ± 0.005 -in. (50.80 ± 0.13 -mm) diameter face and a manufactured mass of 5.5 ± 0.02 lb (2.49 ± 0.01 kg). The operating mass of the rammer shall be determined from a calibration in accordance with Methods D 2168. The rammer shall be equipped with a suitable arrangement to control the height of drop to a free-fall of $12.0 \pm 1/16$ in. (304.8 ± 1.6 mm) above the elevation of the soil-cement.

4.2.3 *Rammer Face*—A sector face may be substituted with mechanical rammers provided the report shows that a sector face rammer was used. The sector face shall be a sector of a 4.0 ± 0.016 -in. (101.60 ± 0.41 -mm) diameter circle and shall have an area equal to that of the circular face rammer.

NOTE 2—The sector face rammer shall not be used to compact test specimens in accordance with Methods D 559 and D 560, unless previous tests on like soils show strength and resistance to wetting-and-drying and freezing-and-thawing of specimens compacted with this



Metric Equivalents

in.	mm
0.016	0.41
0.026	0.66
1/32	0.80
1/16	1.6
1/8	3.2
1/4	6.4
11/32	8.7
3/8	9.5
1/2	12.7
5/8	15.9
2	50.8
2 1/2	63.5
4	101.6
4 1/4	108.0
4 1/2	114.3
4.584	116.43
6	152.4
6 1/2	165.1
8	203.2
ft ³	cm
1/30	944
0.004	11
1/13.333	2124
0.0009	25

NOTE (a)—The tolerance on the height is governed by the allowable volume and diameter tolerances.

NOTE (b)—The methods shown for attaching the extension collar to the mold and the mold to the base plate are recommended. However, other methods are acceptable providing the attachments are equally as rigid as those shown.

FIG. 1 Cylindrical Mold

rammer are similar to that of specimens compacted with the circular face rammer.

4.3 *Sample Extruder*—A jack, lever frame, or other device adapted for the purpose of extruding compacted specimens from the mold. Not required when a split-type mold is used.

4.4 *Balances*—A balance or scale of at least 25-lb (11.3-

kg) capacity sensitive to 0.01 lb (0.005 kg) and a balance of at least 1000-g capacity sensitive to 0.1 g.

4.5 *Drying Oven*—A thermostatically controlled drying oven capable of maintaining a temperature of 230 ± 5 ($110 \pm 5^\circ\text{C}$) for drying moisture samples.

4.6 *Straightedge*—A rigid steel straight-edge 12 in. (305 mm) in length and having one beveled edge.

4.7 *Sieves*—3-in. (75-mm), 3/4-in. (19.0-mm), and No. 20 (0.85-mm).

4-mm) sieves conforming to the requirements of Specification E 11.

Mixing Tools—Miscellaneous tools such as mixing spoon, trowel, and spatula, or a suitable mechanical device for thoroughly mixing the sample of soil with cement with increments of water.

Container—A flat, round pan for moisture absorption of soil-cement mixtures, about 12 in. (305 mm) in diameter and 1 in. (50 mm) deep.

Moisture Cans—Suitable containers for moisture measurements.

Butcher Knife—A butcher knife approximately 10 in. (250 mm) in length for trimming the top of the specimens.

Method A, Using Soil Material Passing a No. 4 (4.75-mm) Sieve

Sample:

1 Prepare the sample for testing by breaking up the soil aggregations to pass the No. 4 (4.75-mm) sieve in such a manner as to avoid reducing the natural size of the individual particles. When necessary, first dry the sample until it is friable under a trowel. Drying may be accomplished by air drying or by the use of drying apparatus such that the temperature of the sample does not exceed 140°F (60°C).

2 Select a representative sample, weighing approximately 6 lb (2.7 kg) or more, of the soil prepared as described in 1.1.

Procedure:

1 Add to the soil the required amount of cement according to Specification C 150 or Specification C 595. Mix the cement and soil thoroughly to a uniform color.

2 When needed, add sufficient potable water to the mixture to approximately four to six percentage points below the estimated optimum moisture content and mix thoroughly. At this moisture content, plastic soils, when squeezed in the palm of the hand, will form a cast that fractures with only slight pressure applied by the thumb and fingertips; nonplastic soils will bulk noticeably.

3 When the soil is a heavy-textured clayey material, mix the mixture of soil, cement, and water in the container to a depth of about 2 in. (50 mm) using the trowel described in 4.2 or a similar hand tamper. Cover the container and allow to stand for not less than 5 min but not more than 15 min to aid dispersion of the moisture and to permit more moisture absorption by the soil-cement.

4 After the absorption period, thoroughly break up the mixture, without reducing the natural size of individual particles, until it will pass a No. 4 (4.75-mm) sieve and then

5 Form a specimen by compacting the prepared soil-cement mixture in the mold, with the collar attached, in equal layers so as to give a total compacted depth of 3 in. (130 mm). Compact each layer by 25 blows from a standard rammer dropping free from a height of 12 in. (304.8 mm) above the elevation of the soil-cement when a sleeve-type rammer is used, or from 12 in. (304.8 mm) above the estimated elevation of each finally compacted layer when a stationary-mounted type rammer is used. The blows shall be uniformly distributed over the surface of the layer being compacted. During compaction, the mold shall rest on a

uniform, rigid foundation such as provided by a cylinder or a cube of concrete weighing not less than 200 lb (91 kg).

5.2.6 Following compaction, remove the extension collar, carefully trim the compacted mixture even with the top of the mold by means of the knife and straightedge, and weigh.

5.2.7 Multiply the mass of the compacted specimen and mold, minus the mass of the mold, by 30 (or divide by 942.95); record the result as the wet unit mass, γ_m , in pounds per cubic foot or grams per cubic centimetre, of the compacted soil-cement mixture.

5.2.8 Remove the material from the mold and slice vertically through the center. Take a representative sample of the material, weighing not less than 100 g, from the full height of one of the cut faces, weigh immediately, and dry in an oven at $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ($110 \pm 5^\circ\text{C}$) for at least 12 h or to constant mass.

5.2.9 Calculate the moisture content of the sample as directed in Section 7. Record the result as the moisture content, w , of the compacted soil-cement mixture.

5.2.10 Thoroughly break up the remainder of the material as before until it will pass a No. 4 (4.75-mm) sieve, as judged by eye, and add all other material remaining after obtaining the moisture sample.

5.2.11 Add water in sufficient amount to increase the moisture content of the soil-cement mixture by one or two percentage points, mix, and repeat the procedure given in 5.2.5 to 5.2.10 for each increment of water added.

5.2.12 Continue this series of determinations until there is either a decrease or no change in the wet unit mass, γ_m , in pounds per cubic foot or grams per cubic centimetre of the compacted soil-cement mixture.

NOTE 3—This procedure has been found satisfactory in most cases. However, in instances where the soil material is fragile in character and will reduce significantly in grain size due to repeated compaction, a separate and new sample shall be used for each moisture-density determination.

NOTE 4—To minimize the effect of cement hydration, perform the test expeditiously and continuously to completion.

6. Method B, Using Soil Material Passing a 3/4-in. (19.0-mm) Sieve

6.1 Sample:

6.1.1 Prepare the sample for testing by segregating the aggregate retained on a No. 4 (4.75-mm) sieve and breaking up the remaining soil aggregations to pass the No. 4 (4.75-mm) sieve in such a manner as to avoid reducing the natural size of individual particles. When necessary, first dry the sample until it is friable under a trowel. Drying may be accomplished by air drying or by the use of drying apparatus such that the temperature of the sample does not exceed 140°F (60°C).

6.1.2 Sieve the prepared soil over the 3-in. (75-mm) (Note 2), 3/4-in. (19.0-mm), and No. 4 (4.75-mm) sieves. Discard the material retained on the 3-in. (75-mm) sieve. Determine the percentage of material, by oven-dry mass, retained on the 3/4-in. (19.0-mm) and No. 4 sieves.

6.1.3 Saturate the aggregate passing the 3/4-in. (19.0-mm) sieve and retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve by soaking in potable water; surface-dry the material as required for later testing.

NOTE 5—Most soil-cement construction specifications covering soil gradation limit maximum size material to 3 in. (75 mm) or less.

6.1.4 Select and maintain separate representative samples of soil passing the No. 4 (4.75-mm) sieve and of saturated, surface-dry aggregate passing the 3/4-in. (19.0-mm) sieve and retained on the No. 4 sieve so that the total sample will weigh approximately 11 lb (4.99 kg) or more. The percentage, by oven-dry mass, of aggregate passing the 3/4-in. (19.0-mm) sieve and retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve shall be the same as the percentage passing the 3-in. (75-mm) sieve and retained on the No. 4 sieve in the original sample.

6.2 Procedure:

6.2.1 Add to the portion of the soil sample passing the No. 4 sieve, the amount of cement conforming to Specification C 150 or Specification C 595, required for the total sample specified in 6.1.4. Mix the cement and soil thoroughly to a uniform color.

6.2.2 When needed, add water to this soil-cement mixture and facilitate moisture dispersion as described for Method A in 5.2.2 to 5.2.4. After this preparation, add the saturated, surface-dry aggregate to the soil-cement mixture passing the No. 4 (4.75-mm) sieve and mix thoroughly.

6.2.3 Form a specimen by compacting the prepared soil-cement mixture in the mold (with the collar attached) and trim and weigh the compacted specimen as described for Method A in 5.2.5 and 5.2.6. During the trimming operation remove all particles that extend above the top level of the mold. Correct all irregularities in the surface by hand-tamping fine material into these irregularities and leveling the specimen again with the straightedge.

6.2.4 Multiply the mass of the compacted specimen and mold, minus the mass of the mold, by 30 (or divide by 942.95); record the result as the wet unit mass, γ_m , in pounds per cubic foot or grams per cubic centimetre of the compacted soil-cement mixture.

6.2.5 Remove the material from the mold and take a sample for determining the moisture content as described for Method A in 5.2.8 and 5.2.9 except that the moisture sample shall weigh not less than 500 g. Record the result as the moisture content, w , of the compacted soil-cement mixture.

6.2.6 Thoroughly break up the remainder of the material as before until it will pass a 3/4-in. (19.0-mm) sieve and at least 90 % of the soil particles smaller than a No. 4 (4.75-mm) sieve will pass a No. 4 sieve, as judged by eye, and add all other material remaining after obtaining the moisture sample.

6.2.7 Add sufficient water to increase the moisture content of the soil-cement mixture by one or two percentage points, mix, and repeat the procedure described in 6.2.3 to 6.2.6 for each increment of water added. Continue this series of determinations until there is either a decrease or no change in the wet unit mass, γ_m , in pounds per cubic foot or grams per cubic centimetre of the compacted soil-cement mixture (Notes 3 and 4).

7. Calculation

7.1 Calculate the moisture content and dry unit mass, γ_d ,

in pounds per cubic foot or grams per cubic centimetre of the compacted soil-cement mixture for each trial as follows:

$$w = [(A - B)/(B - C)] \times 100$$

$$\gamma = [\gamma_m/(w + 100)] \times 100$$

where:

- w = percentage of moisture in the specimen,
- A = mass of moisture can and wet soil-cement,
- B = mass of moisture can and oven-dry soil-cement,
- C = mass of moisture can,
- γ_d = dry unit mass of compacted soil cement, lb/ft³ or g/cm³, and
- γ_m = wet unit mass of compacted soil-cement, lb/ft³ or g/cm³.

8. Moisture-Density Relationship

8.1 The calculations in Section 7 shall be made to determine the moisture content and corresponding dry unit mass, γ_d , in pounds per cubic foot or grams per cubic centimetre (density) for each of the compacted soil-cement samples. The dry unit mass, γ_d , in pounds per cubic foot or grams per cubic centimetre (densities) of the soil-cement mixture shall be plotted as ordinates and the corresponding moisture contents as abscissas.

8.2 *Optimum Moisture Content, w_o* —When the densities and corresponding moisture contents for the soil-cement mixture have been determined and plotted as indicated in 8.1 it will be found that by connecting the plotted points with a smooth line, a curve is produced. The moisture content corresponding to the peak of the curve shall be termed the “optimum moisture content” of the soil-cement mixture under the compaction prescribed in these methods.

8.3 *Maximum Density, γ_{max}* —The dry unit mass, γ_d , in pounds per cubic foot or grams per cubic centimetre of the soil-cement mixture at “optimum moisture content” shall be termed “maximum density” under the compaction prescribed in these test methods.

9. Report

- 9.1 The report shall include the following:
 - 9.1.1 Optimum moisture content, and
 - 9.1.2 Maximum density.

10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—Data are being sought by the subcommittee for the preparation of a statement on the precision of this test procedure. Until a statement is developed, the user may be guided by the statement in Test Method D 698, for which the precision is expected to be similar.

10.2 *Bias*—There are no accepted reference values for this test method, therefore, bias cannot be determined.

11 Keywords

11.1 compaction; compaction tests; density; maximum dry density; moisture content; moisture-density curves; optimum moisture content; unit weight

American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards which should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

This standard is issued under the fixed designation D 559; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

Scope

1.1 These test methods cover procedures for determining the soil-cement losses, moisture changes, and volume changes (swell and shrinkage) produced by repeated wetting and drying of hardened soil-cement specimens. The specimens are compacted in a mold, before cement hydration, to maximum density at optimum moisture content using the compaction procedure described in Test Methods D 558.

1.2 Two test methods, depending on soil gradation, are covered for preparation of material for molding specimens and for molding specimens as follows:

Test Method A, using soil material passing a No. 4 (4.75-mm) sieve. This method shall be used when 100 % of the soil sample passes the No. 4 (4.75-mm) sieve.

Test Method B, using soil material passing a $\frac{3}{4}$ -in. (19.0-mm) sieve. This method shall be used when part of the soil sample is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve.

1.3 This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards¹

C 150 Specification for Portland Cement²

C 595 Specification for Blended Hydraulic Cements²

D 558 Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures³

D 560 Test Methods for Freezing-and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures³

D 2168 Test Methods for Calibration of Laboratory Mechanical-Rammer Soil Compactors³

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes⁴

3. Significance and Use

3.1 These test methods are used to determine the resistance of compacted soil-cement specimens to repeated wet-

ting and drying. These test methods were developed to be used in conjunction with Test Methods D 560 and criteria given in the *Soil-Cement Laboratory Handbook*⁵ to determine the minimum amount of cement required in soil-cement to achieve a degree of hardness adequate to resist field weathering.

4. Apparatus

4.1 *Mold*—A cylindrical metal mold having a capacity of $1\frac{1}{2} \pm 0.004$ ft³ (944 ± 11 cm³) with an internal diameter of 4.0 ± 0.016 in. (101.60 ± 0.41 mm) and conforming to Fig. 1 to permit preparing compacted specimens of soil-cement mixtures of this size. The mold shall be provided with a detachable collar assembly approximately $2\frac{1}{2}$ in. (63.5 mm) in height. The mold may be of the split type consisting of two half-round sections or a section of pipe with one side split perpendicular to the pipe circumference and that can be securely locked in place to form a closed cylinder having the dimensions described above. The mold and collar assembly shall be so constructed that it can be fastened firmly to a detachable base.

4.2 Rammer

4.2.1 *Manual Rammer*—A manually operated metal rammer having a 2.0 ± 0.005 -in. (50.80 ± 0.13 -mm) diameter circular face and weighing 5.5 ± 0.02 lb (2.49 ± 0.01 kg). The rammer shall be equipped with a suitable guide-sleeve to control the height of drop to a free fall of $12 \pm \frac{1}{16}$ in. (304.8 ± 1.6 mm) above the elevation of the soil-cement. The guide-sleeve shall have at least four vent holes not smaller than $\frac{3}{16}$ in. (9.5 mm) spaced 90° apart and located with centers $\frac{3}{4} \pm \frac{1}{16}$ in. (19.0 ± 1.6 mm) from each end and shall provide sufficient clearance that freefalls of the rammer shaft and head will not be restricted.

4.2.2 *Mechanical Rammer*—A mechanically operated metal rammer having a 2.0 ± 0.005 -in. (50.80 ± 0.13 -mm) diameter face and a manufactured weight of 5.5 ± 0.02 lb (2.49 ± 0.01 kg). The operating weight of the rammer shall be determined from a calibration in accordance with Methods D 2168. The rammer shall be equipped with a suitable arrangement to control the height of drop to a free-fall of $12.0 \pm \frac{1}{16}$ in. (304.8 ± 1.6 mm) above the elevation of the soil-cement.

4.2.3 *Rammer Face*—Strength and resistance to wetting and drying of specimens compacted with the sector face rammer may differ from that of specimens compacted with the circular face rammer. Therefore, the sector face rammer

¹ These test methods are under the jurisdiction of the ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and are the direct responsibility of Subcommittee D18.15 on Stabilization of Additives.

Current edition approved July 28, 1989. Published September 1989. Originally published as D 559 - 79. Last previous edition D 559 - 82.

² Annual Book of ASTM Standards, Vols 04.01 and 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.06.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vols 04.01, 0119 and 14.02.

⁵ Soil-Cement Laboratory Handbook, Portland Cement Assoc., 1974.



Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures¹

This standard is issued under the fixed designation D 559; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover procedures for determining the soil-cement losses, moisture changes, and volume changes (swell and shrinkage) produced by repeated wetting and drying of hardened soil-cement specimens. The specimens are compacted in a mold, before cement hydration, to maximum density at optimum moisture content using the compaction procedure described in Test Methods D 558.

1.2 Two test methods, depending on soil gradation, are covered for preparation of material for molding specimens and for molding specimens as follows:

	Sections
<i>Test Method A</i> , using soil material passing a No. 4 (4.75-mm) sieve. This method shall be used when 100 % of the soil sample passes the No. 4 (4.75-mm) sieve	5
<i>Test Method B</i> , using soil material passing a 3/4-in. (19.0-mm) sieve. This method shall be used when part of the soil sample is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve	6

1.3 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 150 Specification for Portland Cement²
- C 595 Specification for Blended Hydraulic Cements²
- D 558 Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures³
- D 560 Test Methods for Freezing-and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures³
- D 2168 Test Methods for Calibration of Laboratory Mechanical-Rammer Soil Compactors³
- E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes⁴

3. Significance and Use

3.1 These test methods are used to determine the resistance of compacted soil-cement specimens to repeated wet-

ting and drying. These test methods were developed to be used in conjunction with Test Methods D 560 and criteria given in the *Soil-Cement Laboratory Handbook*⁵ to determine the minimum amount of cement required in soil-cement to achieve a degree of hardness adequate to resist field weathering.

4. Apparatus

4.1 *Mold*—A cylindrical metal mold having a capacity of $\frac{1}{30} \pm 0.0004$ ft³ (944 ± 11 cm³) with an internal diameter of 4.0 ± 0.016 in. (101.60 ± 0.41 mm) and conforming to Fig. 1 to permit preparing compacted specimens of soil-cement mixtures of this size. The mold shall be provided with a detachable collar assembly approximately 2½ in. (63.5 mm) in height. The mold may be of the split type consisting of two half-round sections or a section of pipe with one side split perpendicular to the pipe circumference and that can be securely locked in place to form a closed cylinder having the dimensions described above. The mold and collar assembly shall be so constructed that it can be fastened firmly to a detachable base.

4.2 Rammer:

4.2.1 *Manual Rammer*—A manually operated metal rammer having a 2.0 ± 0.005 -in. (50.80 ± 0.13 -mm) diameter circular face and weighing 5.5 ± 0.02 lb (2.49 ± 0.01 kg). The rammer shall be equipped with a suitable guidesleeve to control the height of drop to a free fall of $12 \pm \frac{1}{16}$ in. (304.8 ± 1.6 mm) above the elevation of the soil-cement. The guidesleeve shall have at least four vent holes not smaller than $\frac{3}{8}$ in. (9.5 mm) spaced 90° apart and located with centers $\frac{3}{4} \pm \frac{1}{16}$ in. (19.0 ± 1.6 mm) from each end and shall provide sufficient clearance that freefalls of the rammer shaft and head will not be restricted.

4.2.2 *Mechanical Rammer*—A mechanically operated metal rammer having a 2.0 ± 0.005 -in. (50.80 ± 0.13 -mm) diameter face and a manufactured weight of 5.5 ± 0.02 lb (2.49 ± 0.01 kg). The operating weight of the rammer shall be determined from a calibration in accordance with Methods D 2168. The rammer shall be equipped with a suitable arrangement to control the height of drop to a free-fall of $12.0 \pm \frac{1}{16}$ in. (304.8 ± 1.6 mm) above the elevation of the soil-cement.

4.2.3 *Rammer Face*—Strength and resistance to wetting-and-drying of specimens compacted with the sector face rammer may differ from that of specimens compacted with the circular face rammer. Therefore, the sector face rammer

¹ These test methods are under the jurisdiction of the ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and are the direct responsibility of Subcommittee D18.15 on Stabilization of Additives.

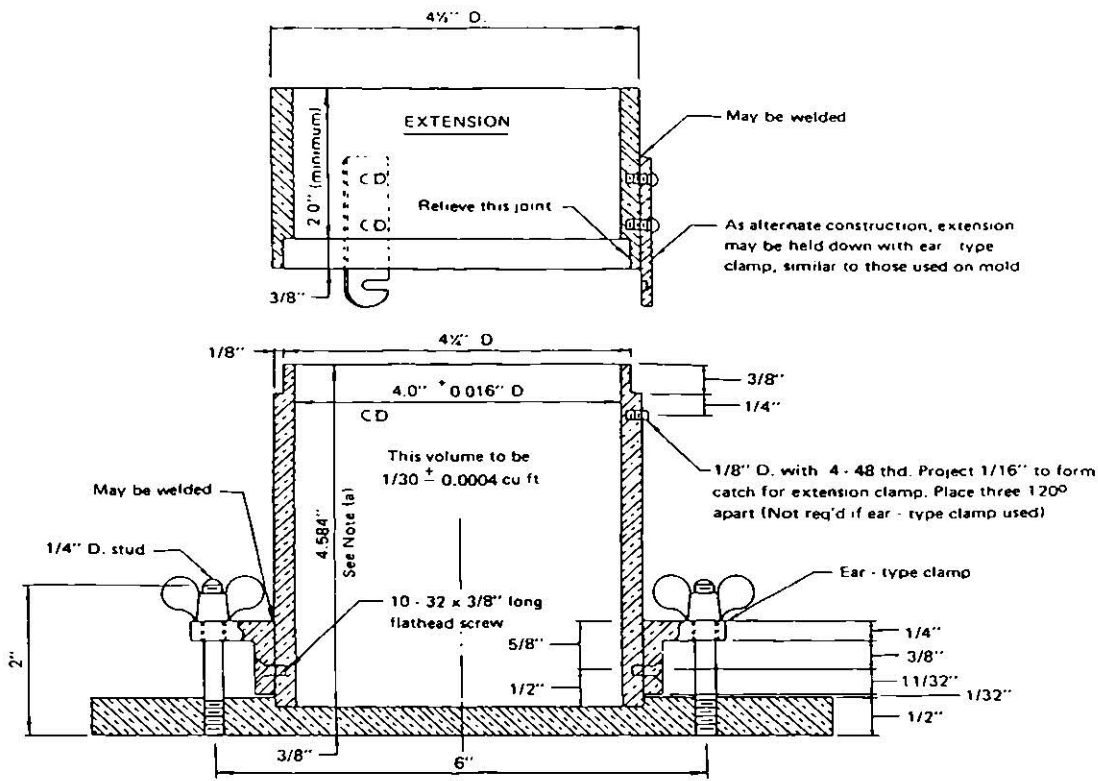
Current edition approved July 28, 1989. Published September 1989. Originally published as D 559 – 39. Last previous edition D 559 – 82.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vols 04.01 and 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vols 04.01, 04.06, and 14.02.

⁵ *Soil-Cement Laboratory Handbook*, Portland Cement Assn., 1974.



Metric Equivalents

in.	mm
0.016	0.41
0.026	0.66
1/32	0.80
1/16	1.6
1/8	3.2
1/4	6.4
11/32	8.7
3/8	9.5
1/2	12.7
5/8	15.9
2	50.8
2 1/2	63.5
4	101.6
4 1/4	108.0
4 1/2	114.3
4.584	116.43
6	152.4
6 1/2	165.1
8	203.2
ft ³	cm
1/30	944
0.004	11
1/13.333	2124
0.0009	25

The tolerance on the height is governed by the allowable volume and diameter tolerances. The methods shown for attaching the extension collar to the mold and the mold to the base plate are recommended. However, others methods are provided if the attachments are equally as rigid as those shown.

FIG. 1 Cylindrical Mold

used unless previous tests on like soil-cement show that similar resistance to wetting and drying is obtained with the two types of rammers.

Extruder—A jack, lever frame, or other device for the purpose of extruding compacted soil-cement from the mold. Not required when a split-type mold is used.

Weights—A balance or scale of at least 25-lb (11.3-

kg) capacity sensitive to 0.01 lb (0.005 kg) and a balance of at least 1000-g capacity sensitive to 0.1 g.

4.5 Drying Ovens—A thermostatically controlled drying oven capable of maintaining temperatures of 230 ± 9°F (110 ± 5°C) for drying moisture samples, and a thermostatically controlled drying oven capable of maintaining temperatures of 160 ± 5°F (71 ± 3°C) for drying compacted soil-cement specimens.

4.6 *Moist Room*—A moist room or suitable covered container capable of maintaining a temperature of $70 \pm 3^\circ\text{F}$ ($21 \pm 1.7^\circ\text{C}$) and a relative humidity of 100 % for 7-day storage of compacted specimens.

4.7 *Water Bath*—Suitable tank for submerging compacted specimens in water at room temperature.

4.8 *Wire Scratch Brush*—A wire scratch brush made of 2 by $\frac{1}{16}$ -in. (50.8 by 1.588-mm) flat No. 26 gage (0.46-mm) wire bristles assembled in 50 groups of 10 bristles each and mounted to form 5 longitudinal rows and 10 transverse rows of bristles on a $7\frac{1}{2}$ by $2\frac{1}{2}$ -in. (190 by 63.5-mm) hardwood block.

4.9 *Straightedge*—A rigid steel straightedge 12 in. (305 mm) in length and having one beveled edge.

4.10 *Sieves*—3-in. (75-mm), $\frac{3}{4}$ -in. (19.0-mm), and No. 4 (4.75-mm) sieves conforming to the requirements of Specification E 11.

4.11 *Mixing Tools*—Miscellaneous tools such as mixing pan, and trowel, or a suitable mechanical device for thoroughly mixing the soil with cement and water.

4.12 *Butcher Knife*—A butcher knife approximately 10 in. (250 mm) in length for trimming the top of the specimens.

4.13 *Scarifier*—A six-pronged ice pick or similar apparatus to remove the smooth compaction plane at the top of the first and second layers of the specimen.

4.14 *Container*—A flat, round pan for moisture absorption by soil-cement mixtures, about 12 in. (305 mm) in diameter and 2 in. (50 mm) deep.

4.15 *Measuring Device*—A measuring device suitable for accurately measuring the heights and diameters of test specimens to the nearest 0.01 in. (0.2 mm).

4.16 *Pans and Carriers*—Suitable pans for handling materials and carriers or trays for handling test specimens.

4.17 *Graduate*—A graduated cylinder of 250-mL capacity for measuring water.

4.18 *Moisture Cans*—Suitable containers for moisture samples.

5. Test Method A—Using Soil Material Passing a No. 4 (4.75-mm) Sieve

5.1 Preparation of Material for Molding Specimens:

5.1.1 Prepare the soil sample in accordance with the procedure described in Test Method A of Test Methods D 558.

5.1.2 Select a sufficient quantity of the soil prepared as described in 5.1.1 to provide two (Note 1) compacted specimens and required moisture samples.

NOTE 1: (Optional)—Usually only one specimen (identified as No. 2) is required for routine testing. The other specimen (identified as No. 1) is made for research work and for testing unusual soils.

5.1.3 Add to the soil the required amount of cement conforming to Specification C 150 or Specification C 595. Mix the cement and soil thoroughly to a uniform color.

5.1.4 Add sufficient potable water to raise the soil-cement mixture to optimum moisture content at the time of compaction and mix thoroughly. When the soil used is a heavy textured clayey material, compact the mixture of soil, cement, and water in the container to a depth of about 2 in. (50 mm) using the rammer described in 4.2 or a similar hand tamper, cover, and allow to stand for not less than 5 min but

not more than 10 min to aid dispersion of the moisture and to permit more complete absorption by the soil-cement.

5.1.5 After the absorption period, thoroughly break up the mixture, without reducing the natural size of individual particles, until it will pass a No. 4 (4.75-mm) sieve, as judged by eye, and then remix.

5.2 Molding Specimens:

5.2.1 Form a specimen by immediately compacting the soil-cement mixture in the mold (with the collar attached) and later trimming the specimen in accordance with Test Method A of Test Methods D 558, and in addition scarify the tops of the first and second layers to remove smooth compaction planes before placing and compacting the succeeding layers. This scarification shall form grooves at right angles to each other, approximately $\frac{1}{8}$ in. (3.2 mm) in width and $\frac{1}{8}$ in. (3.2 mm) in depth and approximately $\frac{1}{4}$ in. (6.4 mm) apart.

5.2.2 During compaction, take from the batch a representative sample of the soil-cement mixture, weighing not less than 100 g, weigh immediately, and dry in an oven at $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ($110 \pm 5^\circ\text{C}$) for at least 12 h or to constant weight. Calculate the percentage of moisture as prescribed in Test Methods D 558 to check against design moisture content.

5.2.3 Weigh the compacted specimen and mold, remove the specimen from the mold, and calculate the oven-dry weight of each specimen in lb/ft^3 (g/cm^3) to check against design density.

5.2.4 Identify the specimen on a metal tag (or other suitable device) as No. 1 (Note 1) together with other needed identification marks and use to obtain data on moisture and volume changes during the test.

5.2.5 Form a second specimen as rapidly as possible and determine the percentage of moisture and oven-dry weight as described in 5.2.1 to 5.2.3. Identify this specimen as No. 2, together with other needed identification marks and use to obtain data on soil-cement losses during the test.

5.2.6 Determine the average diameter and height of the No. 1 specimen and calculate its volume.

5.2.7 Place the specimens on suitable carriers in the moist room and protect them from free water for a period of 7 days.

5.2.8 Weigh and measure the No. 1 specimen at the end of the 7-day storage period to provide data for calculating its moisture content and volume.

NOTE 2—It is important that all height and diameter measurements be accurate to within 0.01 in. (0.2 mm) and be taken at the same points on the specimen at all times.

5.3 Procedure:

5.3.1 At the end of the storage in the moist room, submerge the specimens in potable water at room temperature for a period of 5 h and remove. Weigh and measure the No. 1 specimen (volume and moisture change specimen).

5.3.2 Place both specimens in an oven at 160°F (71°C) for 42 h and remove. Weigh and measure the No. 1 specimen.

5.3.3 Give specimen No. 2 (soil-cement loss specimen) two firm strokes on all areas with the wire scratch brush. The brush shall be held with the long axis of the brush parallel to the longitudinal axis of the specimen or parallel to the ends as required to cover all areas of the specimen. Apply these strokes to the full height and width of the specimen with a firm stroke corresponding to approximately 3-lbf (13.3-N)

3). Eighteen to twenty vertical brush strokes are cover the sides of the specimen twice and four required on each end.

his pressure is measured as follows: clamp a specimen in on the edge of a platform scale and zero the scale. brushing strokes to the specimen and note the force gister approximately 3 lbf (13.3 N).

procedures described in 5.3.1 to 5.3.3 constitute 8 h) of wetting and drying. Again submerge the water and continue the procedure for 12 cycles.

eight determinations of specimen No. 2 before and after usually made at the end of each cycle when conducting making special investigations.

No. 1 specimen may be discontinued prior to could the measurements become inaccurate due nt loss of the specimen.

it is not possible to run the cycles continuously because lidays, or for any other reason, hold the specimens in the e layover period if possible.

er 12 cycles of test, dry the specimens to constant °F (110°C) and weigh to determine the oven-dry e specimens.

data collected will permit calculations of moisture changes of specimen No. 1 and the losses of specimen No. 2 after the prescribed 12

Method B—Using Soil Material Passing a 3/4-in. Sieve

Preparation of Material for Molding Specimens:
pare the soil sample in accordance with Test of Test Methods D 558.

ct and maintain separate representative samples ng the No. 4 (4.75-mm) sieve and of saturated, aggregate passing the 3/4-in. (19.0-mm) sieve and the No. 4 (4.75-mm) sieve so that the total be enough to provide two (Note 1) compacted and required moisture samples. The percentage, weight, of aggregate passing the 3/4-in. (19.0- and retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve shall as the percentage passing the 3-in. (75-mm) sieve on the No. 4 (4.75-mm) sieve in the original

to the sample passing the No. 4 (4.75-mm) amount of cement conforming to Specification e Specification C 595, required for the total sample

6.1.2 Mix the cement and soil thoroughly to a

to the sample passing the No. 4 (4.75-mm) ent water to raise the total soil-cement mixture 6.1.2 to optimum moisture content at time of and facilitate moisture dispersion as described od A in 5.1.4 to 5.1.6.

preparation of the mixture as described in , add the saturated, surface-dry aggregate to the mix thoroughly.

Molding Specimens:
m a specimen by immediately compacting the mixture in the mold (with the collar attached) mming the specimen in accordance with Test

Method B of Test Methods D 558, and in addition as the mixture for each layer is placed in the mold, spade along the inside of the mold with a butcher knife before compaction to obtain uniform distribution of the material retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve and scarify the tops of the first and second layers as described for Test Method A of this test method.

6.2.2 During compaction, take from the batch a representative sample of the soil-cement mixture weighing not less than 500 g, weigh immediately, and dry in an oven at 230 ± 9°F (110 ± 5°C) for at least 12 h or to constant weight to determine the moisture content to check against design moisture content.

6.2.3 Form a second specimen as rapidly as possible in the same manner.

6.2.4 Weigh each compacted specimen to check against design density, identify, measure the No. 1 specimen (Note 1), place in the moist room, and measure the No. 1 specimen again at the end of the 7-day storage period as described for Test Method A in 5.2.3 to 5.2.8 (Note 2).

6.3 Procedure:
6.3.1 Proceed as directed in Test Method A (see 5.3).

7. Calculation

7.1 Calculate the volume and moisture changes and the soil-cement losses of the specimens as follows:

7.1.1 Calculate the difference between the volume of specimen No. 1 at the time of molding and subsequent volumes as a percentage of the original volume.

7.1.2 Calculate the moisture content of specimen No. 1 at the time of molding and subsequent moisture contents as a percentage of the original oven-dry weight of the specimen.

7.1.3 Correct the oven-dry weight of specimen No. 2 as obtained in 5.3.6 for water that has reacted with the cement and soil during the test and is retained in the specimen at 230°F (110°C), as follows:

$$\text{Corrected oven-dry weight} = (A/B) \times 100$$

where:

A = oven-dry weight after drying at 230°F (100°C), and
B = percentage of water retained in specimen plus 100.
The percentage of water retained in specimen No. 2 after drying at 110°C for use in the above formula can be assumed to be equal to the water retained in specimen No. 1. When No. 1 specimens are not molded, the foregoing data are not available and the average values prescribed in Table 1 are used.

7.1.4 Calculate the soil-cement loss of specimen No. 2 as a percentage of the original oven-dry weight of the specimen as follows:

$$\text{Soil-cement loss, \%} = (A/B) \times 100$$

TABLE 1 Average Values

AASHTO Soil Classification	Average Water Retained After Drying at 230°F (110°C), %
A-1, A-3	1.5
A-2	2.5
A-4, A-5	3.0
A-6, A-7	3.5

where:

A = original calculated oven-dry weight minus final corrected oven-dry weight, and

B = original calculated oven-dry weight.

8. Report

8.1 The report shall include the following:

8.1.1 The designed optimum moisture and maximum density of the molded specimens,

8.1.2 The moisture content and density obtained in molded specimens,

NOTE 6—Good laboratory practice permits the following tolerances between design factors and those obtained in the molded specimens:

Moisture content	±1 percentage point
Density	±3 lb/ft ³ (0.048 g/cm ³)

8.1.3 The designed cement content, in percent, of the molded specimens,

8.1.4 The maximum volume change, in percent, and maximum moisture content during test of specimen No. 1, and

8.1.5 The soil-cement loss, in percent, of specimen No. 2.

9. Precision and Bias

9.1 *Precision*—Only limited data are available from which to judge the variability of results for these test methods. These data are shown in Table 2.

9.1.1 A larger amount of weight loss data is listed under Test Methods D 560. It is expected that variations of results of these tests, Test Methods D 559, would be similar since

TABLE 2 Weight Loss of Duplicate Specimens in Wet-Drying Test^A

Soil No	AASHTO Soil Class	Cement Content, %	Weight Losses Duplicate Specimens
8939	A-1-b (0)	2	17, 19
		3	6, 0
		5	5, 1
8295	A-4 (5)	3	9, 11
		5	6, 2
		7	0, 0
8942	A-6 (10)	10	0, 2
		3	20, 25
		5	6, 7
9069	A-4 (8)	7	1, 1
		10	0, 0
		4	12, 12
		6	7, 6
		8	3, 3
		10	2, 2

^A Molded from same batch by same operator. Data from Packard "Alternate Methods for Measuring Freeze-Thaw and Wet-Dry Resis Soil-Cement Mixtures," *Highway Research Board Bulletin* No. 353, 196.

the same brushing operation is used in both test methods to achieve the weight loss.

9.1.2 Experience indicates that the variations in results are greater for high weight losses and less for low weight losses. The degree of variation of most interest is at the allowable weight loss criteria. Suggested allowable weight loss criteria are given in the literature.⁵

9.2 *Bias*—Since there is no accepted reference method suitable for determining the bias for the procedure for measuring weight loss, no statement on bias is being

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory¹

This standard is issued under the fixed designation D 1632; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This practice covers the procedure for making and compression and flexure test specimens of soil-cement laboratory under accurate control of quantities of materials and test conditions.

This standard may involve hazardous materials, operations and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

Referenced Documents

- ASTM Standards:**
- D 155 Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate²
 - D 157 Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures³
 - D 158 Test Methods for Wetting-and-Drying Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures³
 - D 159 Test Methods for Freezing-and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures³
 - D 162 Test Method for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders³
 - D 163 Test Method for Compressive Strength of Soil-Cement Using Portions of Beams Broken in Flexure (Modified Cube Method)³
 - D 164 Test Method for Flexural Strength of Soil-Cement Using Simple Beam with Third-Point Loading³
 - D 165 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Aggregates⁴

Significance and Use

This practice is used to prepare soil-cement specimens for compressive and flexural strength testing in accordance with Method B of Test Method D 1633, Test Method D 1634, and Test Method D 1635.

This practice does not apply to soil-cement specimens made in commonly available molds, which are 4.0 in. (102 mm) in diameter and 4.584 in. (116.4 mm) in height. For large specimens, Methods D 559 or Methods D 560

are under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Foundations and the direct responsibility of Subcommittee D18.15 on Stabilization by Soil Cements.

This standard was last approved Oct. 23, 1987. Published December 1987. Originally published as D 1632 - 59 T. Last previous edition D 1632 - 63 (1979)^{1,2}.

1. Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

2. Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

3. Book of ASTM Standards, Vols 04.01 and 14.02.

should be used for sample preparation. Compressive strength testing should be in accordance with Method A of Test Method D 1633.

4. Apparatus

4.1 Compression Test Specimen Molds—Molds (Fig. 1) having an inside diameter of 2.8 ± 0.01 in. (71 ± 0.25 mm) and a height of 9 in. (229 mm) for molding test specimens 2.8 in. (71 mm) in diameter and 5.6 in. (142 mm) high; machined steel top and bottom pistons having a diameter 0.005 in. (0.13 mm) less than the mold; a 6-in. (152-mm) long mold extension; and a spacer clip. At least two aluminum separating disks $1/16$ in. (1.54 mm) thick by 2.78 in. (70.6 mm) in diameter shall be provided.

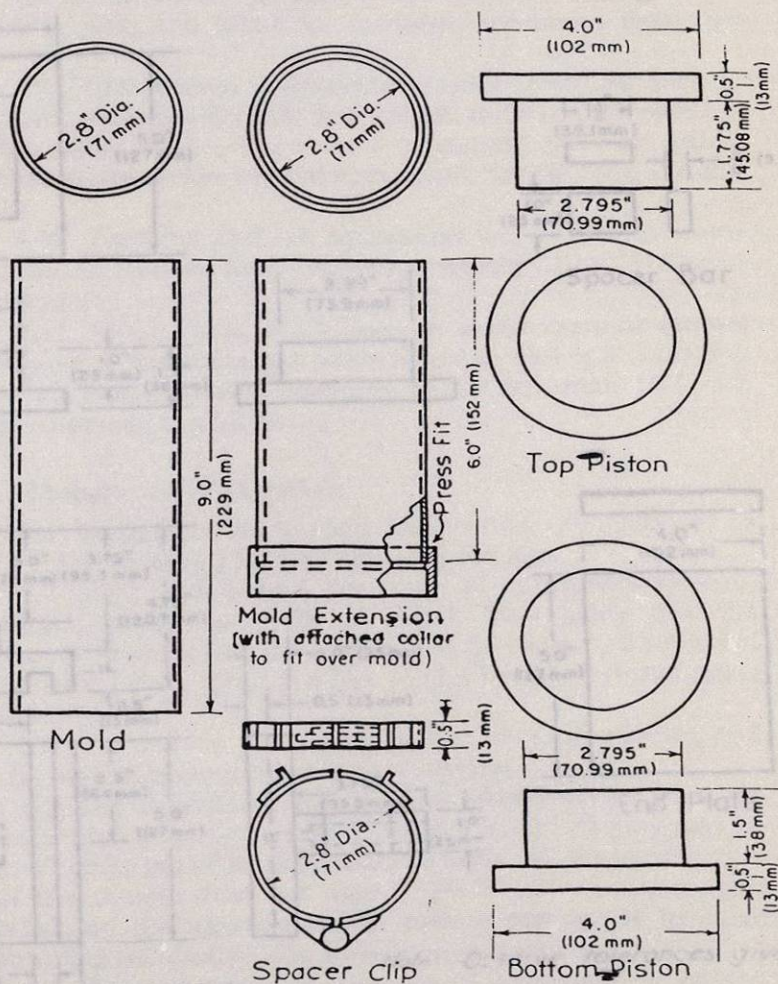


FIG. 1 Soil-Cement Cylinder Mold

NOTE 1—Satisfactory molds may be made from cold-drawn, seamless steel tubing having a Rockwell hardness of approximately 85 HRB or from steel pipe machined on the inside. The 2.8 by 5.6-in. (71 by 142-mm) specimens fit many triaxial compression machines in service, and thus may be used for triaxial as well as unconfined compression tests.

4.2 *Flexure Test Specimen Molds*—Molds having inside dimensions of 3 by 3 by 11¼ in. (76.2 by 76.2 by 285.8 mm) (see Figs. 2 and 3) for molding specimens of the same size. The molds shall be so designed that the specimen will be molded with its longitudinal axis in a horizontal position. The parts of the molds shall be tight-fitting and positively held together. The sides of the molds shall be sufficiently rigid to prevent spreading or warping. The interior faces of the molds shall be plane surfaces with a permissible variation, in any 3-in. (76.2-mm) line on a surface, of 0.002 in. (0.051 mm) for new molds and 0.003 in. (0.076 mm) for molds in use. The distance between opposite sides shall be 3 ± 0.01 in. (76.20 ± 0.25 mm) for new molds, and 3 ± 0.015 in. (76.20 ± 0.38 mm) for molds in use. The height of the molds shall be 3 in. (76.20 mm) with permissible variations of -0.01 in. (-0.25 mm) and $+0.005$ in. ($+0.13$ mm) for both new molds and for molds in use. Four ¾-in. (9.52-mm) spacer bars and top and bottom machined steel plates shall

be provided. The plates shall fit the mold with a 0.005-in. (0.13-mm) clearance on all sides.

NOTE 2—The molds shall be made of metal having a hardness not less than 85 HRB.

4.3 *Sieves*—2-in. (50-mm), ¾-in. (19.0-mm), No. 4 (4.75-mm) and No. 16 (1.18-mm) sieves conforming to the requirements of Specification E 11.

4.4 *Balances*—A balance or scale of 25-lb (12-kg) capacity, sensitive to 0.01 lb (0.0045 kg) and a balance of 1000-g capacity, sensitive to 0.1 g.

4.5 *Drying Oven*—A thermostatically controlled drying oven capable of maintaining a temperature of $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ($110 \pm 5^\circ\text{C}$) for drying moisture samples.

4.6 *Compression Testing Machine or Compression Frame*, having a capacity of approximately 60 000 lbf (267 kN) for compacting flexural test specimens and for optional use in compacting compression test specimens.

4.7 *Dropping-Weight Compacting Machine*—A controlled dropping-weight device of 15 lb (6.8 kg) for striking the top piston, for optional use in compacting compression test specimens (see Figs. 4 and 5). When this equipment is used, the top piston listed in 4.1 is made the foot of the compacting device.

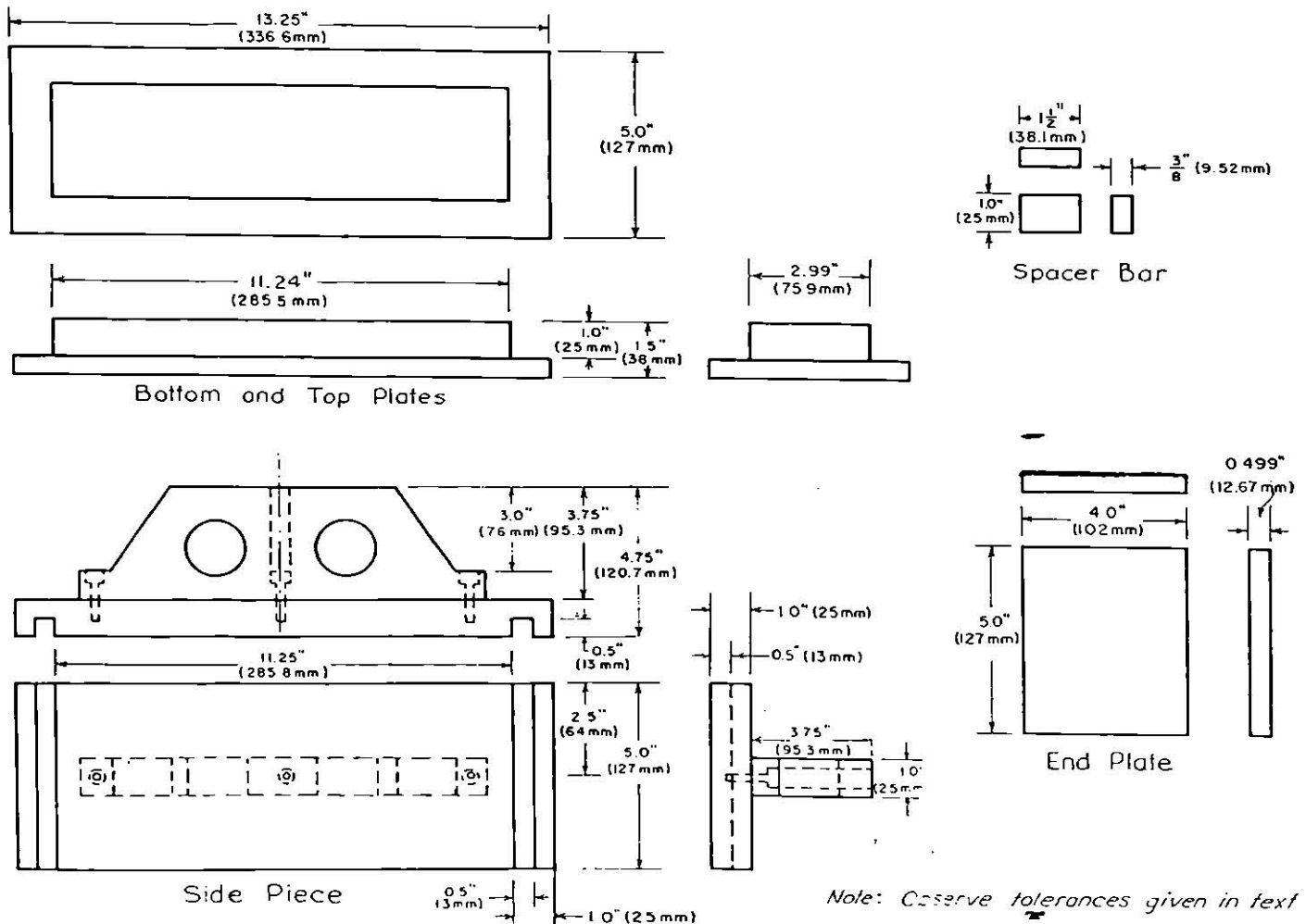
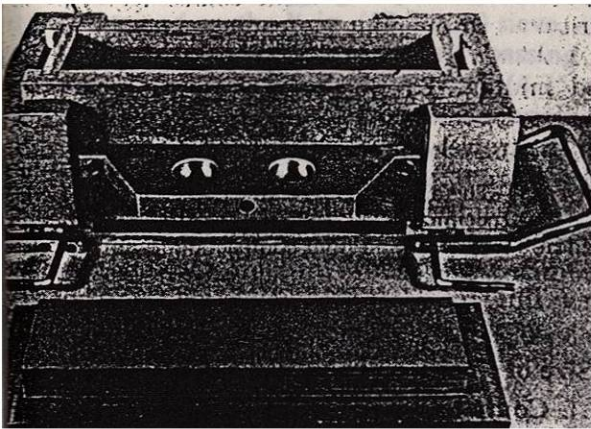


FIG. 2 Mold for Soil-Cement Beam for Flexure Test



heavy Steel Mold and Top Plate for Making 3 by 3 by 1/4 in. (76.2 by 76.2 by 285.8-mm) Flexure Test Beam

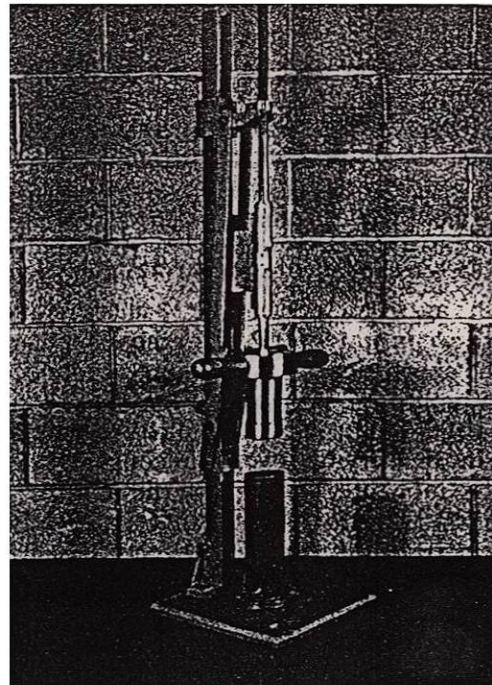
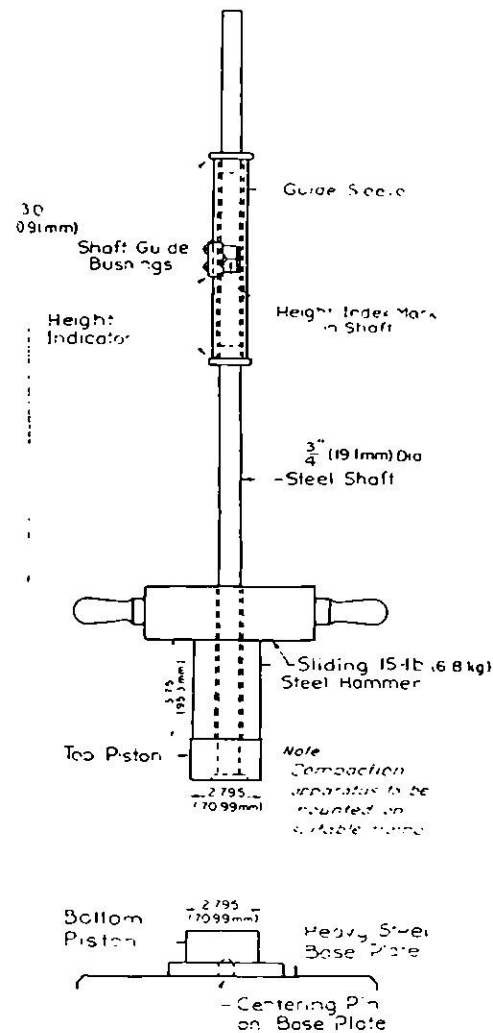


FIG. 5 Compacting Device Suitable for Making 2.8 by 5.6-in. (71 by 142 mm) Compression Test Cylinder



Schematic Drawing of a Suitable Dropping-Weight Compacting Device

4.8 *Compression Specimen Extruder*, consisting of a piston, jack, and frame for extruding specimens from the mold.

4.9 *Miscellaneous Equipment*—Tools such as trowel, spatula, pan, and the like, or a suitable mechanical device for thoroughly mixing the sample of soil-cement with water; graduate for measuring water, moisture sample cans, and the like.

4.10 *Tamping Rod*—A square-end cut, 1/2-in. (12.7-mm) diameter, smooth steel rod approximately 20 in. (510 mm) in length.

4.11 *Moist Room or Cabinet*—A moist room or cabinet capable of maintaining a temperature of $73.4 \pm 3^\circ\text{F}$ ($23.0 \pm 1.7^\circ\text{C}$) and a relative humidity of not less than 96 % for moist curing specimens.

5. Preparation of Materials

5.1 Bring materials to room temperature (preferably 65 to 75°F (18 to 24°C)) before beginning the tests.

5.2 Store cement in a dry place, in moisture-proof containers, preferably made of metal. Thoroughly mix the cement in order that the sample may be uniform throughout the tests. Pass it through a No. 16 (1.18-mm) sieve and reject all lumps.

5.3 The mixing water shall be free of acids, alkalis, and oils, and in general suitable for drinking.

5.4 Dry the soil sample, if damp when received from the field, until it becomes friable under a trowel. Drying may be in air or by use of drying apparatus such that the temperature of the sample does not exceed 140°F (60°C). Thoroughly break up the aggregations in such a manner as to avoid reducing the natural size of individual particles.

5.5 Sieve an adequate quantity of representative pulverized soil on the 2-in. (50-mm), 3/4-in. (19.0-mm), and No. 4

5-mm) sieves. Discard any aggregate retained on the 2-in. (50-mm) sieve. Remove aggregate passing the 2-in. (50-mm) sieve and retained on the ¾-in. (19.0-mm) sieve, and replace with an equal weight of aggregate passing the ¾-in. (19.0-mm) sieve and retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve. Retain aggregate for replacement from the original sample.

NOTE 3—This practice for making soil-cement specimens for compression and flexure tests is used primarily with soil materials having not more than 35 % aggregate retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve and more than 85 % retained on the No. 40 (425-µm) sieve.

6 Soak the aggregate passing the ¾-in. sieve and retained on the No. 4 sieve in water for 24 h, remove, and surface dry. Determine the absorption properties in accordance with Test Method C 127.

7 Take a 100-g sample of the soil passing the No. 4 sieve and dry it in the drying oven to constant weight, and determine the moisture content of the sample to permit calculation of the quantity of water that shall be added to the cement mixture to bring it to the proper moisture content for molding specimens.

8 Take a representative sample of sufficient size to make flexure test specimen or three compression test specimens of the soil passing the No. 4 (4.75-mm) sieve and also the fractions passing the ¾-in. (19.0-mm) sieve and retained on the No. 4 (4.75 mm) sieve, prepared as described in 4, 5.5, and 5.6.

Weighing Materials

1 Weigh to the nearest 0.01 lb (5 g) the designed quantities of soil passing the No. 4 (4.75-mm) sieve and aggregate passing the ¾-in. (19.0-mm) sieve and retained on the No. 4 sieve. Weigh to the nearest 1 g the designed quantity of cement and measure the designed quantity of water to the nearest 1 mL.

NOTE 4—The designed quantities of soil, cement, and water are based on results obtained from ASTM tests. The “optimum” moisture content of the mixture and the “maximum” density to which the specimens are compacted are determined by Test Methods D 558. The quantity of cement is usually sufficient to produce soil-cement of a density suitable for road and runway base construction. This cement quantity is indicated by criteria established for interpreting the results obtained from Methods D 559 and Methods D 560.

Mixing Materials

1 *General*—Mix soil-cement either by hand or in a suitable laboratory mixer in batches of such size as to leave not more than 10 % excess after molding test specimens. Protect this material against loss of moisture, weigh a representative part, and dry it in the drying oven to constant weight to determine the actual moisture content of the soil-cement mixture. When the soil-cement mixture contains aggregate retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve, the sample for moisture determination shall weigh at least 500 g and shall be weighed to the nearest gram. If the mixture does not contain aggregate retained on the No. 4 sieve, the sample shall weigh at least 100 g and shall be weighed to the nearest gram.

2 *Hand Mixing*—Mix the batch in a clean, damp, metal pan on top of a steel table, with a blunt bricklayer’s trowel, using the following procedure:

2.1 Mix the cement and minus No. 4 (4.75-mm) soil together until they are thoroughly blended.

7.2.2 Add water and mix the mass until it is thoroughly blended.

7.2.3 Add the saturated surface-dry coarse aggregate and mix the entire batch until the coarse aggregate is uniformly distributed throughout the batch.

7.3 *Machine Mixing*—Follow the sequence specified for hand mixing. To eliminate segregation, deposit machine-mixed soil-cement in a clean, damp, metal pan and remix with the trowel.

NOTE 5—The operation of mixing and compacting compression and flexure test specimens shall be continuous and the elapsed time between the addition of water and final compaction shall not exceed 30 min.

COMPRESSION TEST SPECIMENS

8. Size of Specimens

8.1 Compression test specimens shall be cylinders with a length equal to twice the diameter. This method provides for specimens 2.8 in. (71 mm) in diameter by 5.6 in. (142 mm) in length, but the same procedure may be used for molding larger or smaller specimens.

9. Molding Specimens

9.1 Lightly coat the mold and the two separating disks with commercial form oil. Hold the cylinder mold in place with the spacer clip over the bottom piston so that the latter extends about 1 in. (25 mm) into the cylinder.

9.2 Place a separating disk on top of the bottom piston and place the extension sleeve on top of the mold. Place in the mold a predetermined weight of the uniformly mixed soil-cement to provide a specimen of the designed density when 5.6 in. (142 mm) high. When the soil-cement contains aggregate retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve, carefully spade the mix around the mold sides with a thin spatula. Then compact the soil-cement initially from the bottom up by steadily and firmly forcing (with little impact) a square-end cut ½-in. (12.7-mm) diameter smooth steel rod repeatedly through the mixture from the top down to the point of refusal, distributing the roddings uniformly over the cross-section of the mold. Perform the operation carefully so as not to leave holes in clayey soil-cement mixtures. Repeat the process until the mass is packed out to a height of approximately 6 in. (150 mm).

9.3 Remove the extension sleeve and place a separating disk on the surface of the soil-cement. Remove the spacer clip supporting the mold on the bottom piston. Put the top piston in place and apply either a static load by the compression machine or a dynamic load by the compacting device until the specimen is 5.6 in. (142 mm) high.

9.4 Remove the pistons and separating disks from the mold assembly, but leave the specimen in the mold.

10. Curing Specimens

10.1 Cure the specimens in the molds in the moist room for 12 h, or longer if required, to permit subsequent removal from the molds using the sample extruder. Return the specimens to the moist room, but protect from dripping water for the specified moist curing period. Generally the specimens will be tested in the moist condition directly after removal from the moist room.

her conditioning procedures, such as soaking in water, oven drying, alternate wetting and drying, or alternate sawing, may be specified after an initial moist curing and conditioning procedures shall be given in detail in

Specimens

For testing, cap the ends of all compression specimens that are not plane within 0.002 in. (0.05 mm). Caps shall meet this same tolerance and shall be perpendicular to the axis of the specimen.

Cap the specimens with gypsum plaster. The caps shall be as practical and shall be aged sufficiently so that they will not flow or fracture when the specimen is tested (suggested time 3 h at 73°F (23°C)). During this period maintain the specimens at constant moisture content.

FLEXURE TEST SPECIMENS

Specimen

For flexure test specimens shall be rectangular beams that are at least 2 in. (51 mm) greater than the depth. This procedure provides for beams 3 in. (76.2 by 76.2 by 285.8 mm), but the same procedure may be used for molding smaller or larger specimens.

Specimens

For the test specimens with the longitudinal axis horizontal, lightly oil the mold parts and assemble with the top and bottom plates separated from the base plate by the 3/8-in. gage bars, one placed at each corner of the

Divide the material into three equal batches a predetermined amount of uniformly mixed soil-cement to make a beam of the desired density. Place one batch of the material in the mold by hand. When the soil-cement contains approximately 10% cement, tamp on the No. 4 (4.75-mm) sieve, carefully tamp around the sides of the mold with a thin plate, and compact the soil-cement initially from the bottom and firmly, forcing (with little impact) a 1/2-in. (12.7-mm) diameter smooth steel rod through the mixture from the top down to the bottom. Approximately 90 roddings distributed uniformly over the cross section of the mold are required; do not leave holes in clayey soil-cement. Compact this layer of compacted soil-cement by hand. Compact layers two and three in an identical manner. The specimen at this time shall be approximately 3.0 in. high.

Place the top plate of the mold in position and the gage bars. Obtain final compaction with a tamper applied by the compression machine or compressor until the specimen reaches the designed height of 3.0 in. (76 mm) is

13.4 Immediately after compaction, carefully dismantle the mold and remove the specimen onto a smooth, rigid, wood or sheet metal pallet.

NOTE 7—A suggested method for removing the specimen from the mold is to remove first the top and then the sides and end plates of the mold. The specimen is then resting on the bottom plate of the mold. The flat face of a carrying pallet is then placed against one side of the specimen and then the bottom mold plate, the specimen, and the pallet are rotated 90° so that the specimen rests on its side on the pallet. The bottom mold plate is then carefully removed.

14. Curing Specimens

14.1 Cure the specimens on pallets in the moist room and protect from free water for the specified moist curing period. Generally the specimen will be tested in the moist condition directly after removal from the moist room (see Note 6).

15. Capping Specimens

15.1 Before testing, cap areas, on opposite sides of the specimens as molded, that will come in contact with the load-applying block and supports and that are not plane within 0.002 in. (0.05 mm). Capped surfaces shall meet this same tolerance and shall be parallel to the horizontal axis of the specimen.

NOTE 8—Specimens are tested on their sides, with the original top and bottom surfaces as molded perpendicular to the testing machine bed. Specimens made in molds meeting the specifications in 3.2 generally will not require capping.

15.2 If capping is necessary, cap specimens with gypsum plaster. The caps shall be as thin as practical and shall be aged sufficiently so that they will not flow or fracture when the specimen is tested (suggested time 3 h at 73°F (23°C)). During this period maintain the specimens at constant moisture content.

REPORT

16. Report

16.1 The report shall include the following:

- 16.1.1 Gradation of soil as received and as used in making specimens,
- 16.1.2 Specimen identification number,
- 16.1.3 Designed moisture content,
- 16.1.4 Designed oven-dry density,
- 16.1.5 Designed cement content,
- 16.1.6 Actual moisture content,
- 16.1.7 Actual oven-dry density,
- 16.1.8 Actual cement content, and
- 16.1.9 Details of curing and conditioning periods.

17. Precision and Bias

17.1 This practice describes procedures for making and curing test specimens. Since there are no test values determined, a statement on precision and bias of the method is not applicable.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



Standard Test Method for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders¹

This standard is issued under the fixed designation D 1633; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

^{ε1} NOTE—Editorial changes were made throughout September 1990.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the compressive strength of soil-cement using molded cylinders as test specimens.

1.2 Two alternative procedures are provided as follows:

1.2.1 *Method A*—This procedure uses a test specimen 4.0 in. (101.6 mm) in diameter and 4.584 in. (116.4 mm) in height. Height to diameter ratio equals 1.15.

1.2.2 *Method B*—This procedure uses a test specimen 2.8 in. (71.1 mm) in diameter and 5.6 in. (142.2 mm) in height. Height to diameter ratio equals 2.00.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

C 42 Test Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²

D 559 Test Methods for Wetting-and-Drying Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures³

D 560 Test Methods for Freezing-and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures³

D 1632 Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory³

E 4 Practices for Load Verification of Testing Machines⁴

3. Significance and Use

3.1 Method A makes use of the same compaction equipment and molds commonly available in soil laboratories and used for other soil-cement tests. It is considered that Method A gives a relative measure of strength rather than a rigorous

determination of compressive strength. Because of the lesser height to diameter ratio (1.15) of the cylinders, the compressive strength determined by Method A will normally be greater than that for Method B.

3.2 Method B, because of the greater height to diameter ratio (2.00), gives a better measure of compressive strength from a technical viewpoint since it reduces complex stress conditions that may occur during the crushing of Method A specimens.

3.3 In practice, Method A has been more commonly used than Method B. As a result, it has been customary to evaluate or specify compressive strength values as determined by Method A. A factor for converting compressive strength values based on height to diameter ratio is given in Section 7⁵.

4. Apparatus

4.1 *Compression Testing Machine*—This machine may be of any type having sufficient capacity and control to provide the rate of loading prescribed in 6.2. It shall conform to the requirements of Section 15 of Practices E 4. The testing machine shall be equipped with two steel bearing blocks with hardened faces (Note 1), one of which is a spherically seated head block that normally will bear on the upper surface of the specimen, and the other a plain rigid block on which the specimen will rest. The bearing faces shall be at least as large, and preferably slightly larger, than the surface of the specimen to which the load is applied. The bearing faces, when new, shall not depart from a plane by more than 0.0005 in. (0.013 mm) at any point, and they shall be maintained within a permissible variation limit of 0.001 in. (0.02 mm). In the spherically seated block, the diameter of the sphere shall not greatly exceed the diameter of the specimen and the center of the sphere shall coincide with the center of the bearing face. The movable portion of this block shall be held closely in the spherical seat, but the design shall be such that the bearing face can be rotated freely and tilted through small angles in any direction.

NOTE 1—It is desirable that the bearing faces of blocks used for compression testing of soil-cement have a hardness of not less than 60 HRC.

4.2 *Molds and Compaction Equipment*, in accordance

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.15 on Stabilization with Admixtures.

Current edition approved Sept. 28, 1984. Published November 1984. Originally published as D 1633 - 59 T. Last previous edition D 1633 - 59 T.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vols 03.01, 04.02, and 08.03.

⁵ For additional discussion on the significance and use of compressive strength results, see the *Soil-Cement Laboratory Handbook*, Chapter 4. Portland Cement Association, Skokie, IL, 1971, pp 31 and 32.

Methods D 559 or Methods D 560 for Method A; D 1632 for Method B.

Specimens

Mold the test specimens as follows:

Method A—Specimens are 4.0 in. (101.6 mm) in diameter and 4.584 in. (116.4 mm) in height and are molded in accordance with Methods D 559 or Methods D 560.

Method B—Specimens are 2.8 in. (71.1 mm) in diameter and 5.6 in. (142.2 mm) in height and are molded in accordance with Method D 1632.

—These methods may be used for testing specimens of other soil samples. If the soil sample includes material retained on the 4.75-mm (No. 10) sieve, it is recommended that Method A be used, or that larger test specimens, 4.0 in. (101.6 mm) in diameter and 8.0 in. (203.2 mm) in height, be molded in a manner similar to Method B.

Moist cure the specimens in accordance with Method D 1632.

At the end of the moist-cure period, immerse the specimens in water for 4 h.

Remove the specimens from the water and make compression tests as soon as practicable, keeping specimens covered with a wet burlap or blanket covering.

—Other conditioning procedures, such as air or oven drying, vacuum drying, or alternate freezing and thawing may be used after an initial moist curing period. Curing and conditioning procedures shall be given in detail in the report.

Check the smoothness of the faces with a straightedge. If necessary, cap the faces to meet the requirements of the Capping Specimens of Method D 1632.

Procedure

Place the lower bearing block on the table or platen of the testing machine directly under the spherically seated bearing block. Place the specimen on the lower bearing block, making certain that the vertical axis of the specimen is aligned with the center of thrust of the spherically seated block. As this block is brought to bear on the specimen, rotate its movable portion gently by hand so that proper seating is obtained.

Apply the load continuously and without shock. A lower testing machine, with the moving head operating at approximately 0.05 in. (1 mm)/min when the specimen is running idle, may be used. With hydraulic testing machines, adjust the loading to a constant rate within the range of 20 ± 10 psi (140 ± 70 kPa)/s, depending upon the diameter of the specimen. Record the total load at failure of the specimen to the nearest 10 lbf (40 N).

7. Calculation

7.1 Calculate the unit compressive strength of the specimen by dividing the maximum load by the cross-sectional area.

NOTE 4—If desired, make allowance for the ratio of height to diameter (h/d) by multiplying the compressive strength of Method B specimens by the factor 1.10. This converts the strength for an h/d ratio of 2.00 to that for the h/d ratio of 1.15 commonly used in routine testing of soil-cement (see Section 3). This conversion is based on that given in Method C 42, which has been found applicable for soil-cement.

8. Report

8.1 The report shall include the following:

8.1.1 Specimen identification number,

8.1.2 Diameter and height, in. (mm),

8.1.3 Cross-sectional areas, in.² (mm²),

8.1.4 Maximum load, to the nearest 10 lbf (40 N),

8.1.5 Conversion factor for height to diameter ratio (see Note 4), if used,

8.1.6 Compressive strength, calculated to the nearest 5 psi (35 kPa),

8.1.7 Age of specimen, and

8.1.8 Details of curing and conditioning periods, and moisture content at the time of test.

9. Precision and Bias

9.1 The precision and bias of this test method have not been established by an interlaboratory test program. However, based on the test data that are available, the following may serve as a guide as to the variability of compressive strength test results.

9.1.1 Tests were performed in a single lab on 122 sets of duplicate specimens molded from 21 different soil materials. The average difference in strength on duplicate specimens was 8.1 % and the median difference was 6.2 %. These values are expressed as the percent of the average strength of the two specimens as follows:

$$\% \text{ Difference} = \frac{(\text{high value} - \text{low value})}{(\text{high value} + \text{low value})/2} \times 100$$

The distribution of the variation is shown in Fig. 1. The data^{6,7} cover a wide range of cement contents and compressive strengths.

10. Keywords

10.1 compressive strength; soil-cement; soil stabilization

⁶ Packard, R. G., "Alternate Measures for Measuring Freeze-Thaw and Wet-Dry Resistance of Soil-Cement Mixtures," *Highway Research Bulletin*, 353, Transportation Research Board, 1962, pp 8-41.

⁷ Packard, R. G., and Chapman, G. A., "Developments in Durability Testing of Soil-Cement Mixtures," *Highway Research Record No. 36*, Transportation Research Board, 1963, pp 97-122.

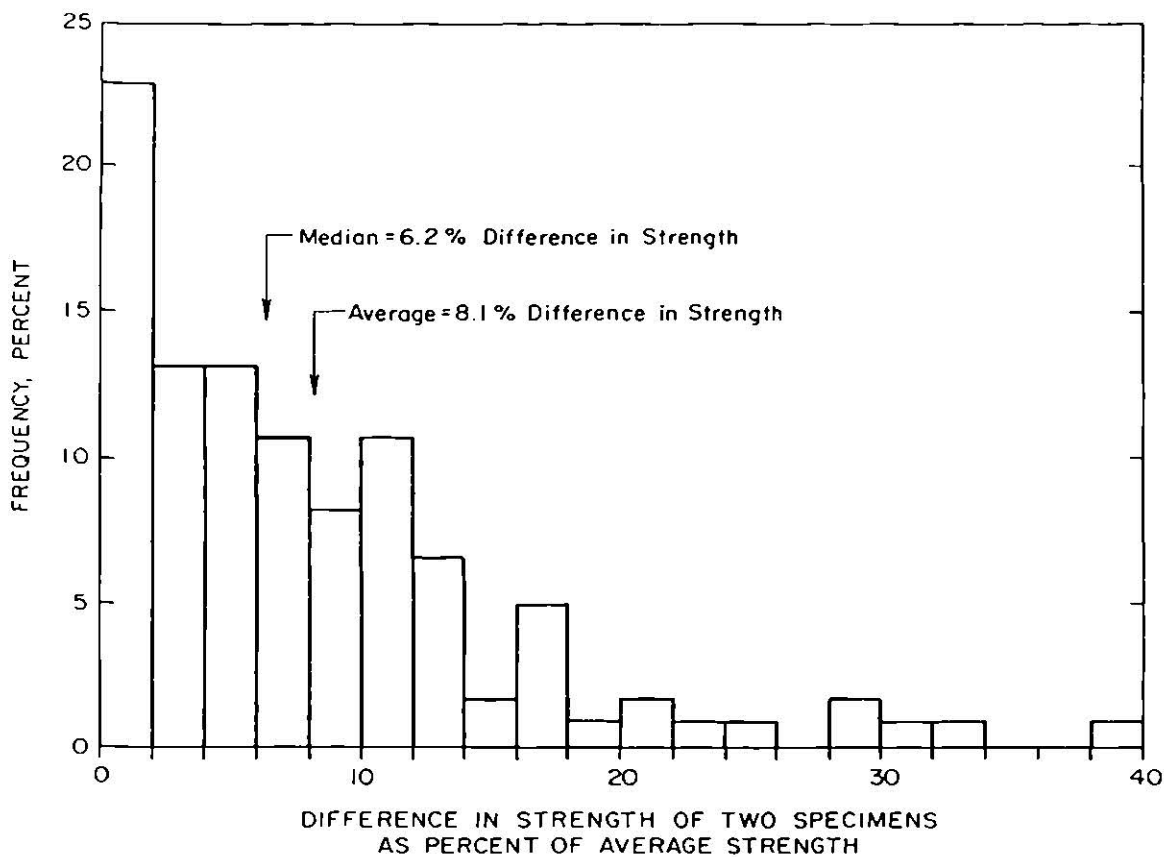


FIG. 1 Distribution of Variation of Test Results for 122 Sets of Duplicate Specimens

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

Standard Test Method for Compressive Strength of Soil-Cement Using Portions of Beams Broken in Flexure (Modified Cube Method)¹

This standard is issued under the fixed designation D 1634; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This test method covers the determination of the compressive strength of soil-cement, using for test specimens portions of beams broken in flexure in accordance with Test Method D 1635.

This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

Referenced Documents

ASTM Standards:

Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure Test Specimens in the Laboratory²

Test Method for Compressive Strength of Molded Concrete Cylinders²

Test Method for Flexural Strength of Soil-Cement Simple Beam with Third-Point Loading²

Practices for Load Verification of Testing Machines³

Scope and Use

This test method is intended for use in the laboratory as a research tool for determining relative compressive strengths for various soil-cement mixtures. It is not intended as an alternative for Test Method D 1633 and the values obtained by these two test methods are not necessarily comparable.

1.1 Apparatus
1.1.1 Compression Testing Machine—The testing machine shall be any type having sufficient capacity and control to permit the rate of loading prescribed in 6.2. It shall conform to the requirements of Section 15 of Practices E 4. The testing machine shall be equipped with a spherically seated head having a bearing surface of at least 75% of the width of the specimen but not greatly in excess of the width of the specimen. The movable portion of this block shall be seated in the spherical seat, but the design shall be such

This method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Foundations, and the direct responsibility of Subcommittee D18.15 on Stabilization

This standard was approved Oct. 23, 1987. Published December 1987. Originally approved as D 1634 - 59 T. Last previous edition D 1634 - 63 (1979).

This standard is part of ASTM Standards, Vol 04.08.

This standard is part of ASTM Standards, Vols 04.02, 03.01, and 08.03.

that the bearing face can be rotated freely and tilted through small angles in any direction.

4.2 Bearing Plates—Square, hardened steel bearing plates $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) thick with side dimensions of 3 ± 0.005 in. (76.2 ± 0.13 mm) (for standard beam). The bearing faces when new shall not depart from a plane by more than 0.0005 in. (0.013 mm) at any point, and they shall be maintained within a permissible variation of 0.001 in. (0.025 mm).

NOTE—It is desirable that the bearing faces of plates used for compression testing of soil-cement have a Rockwell hardness of not less than HRC 60.

5. Test Specimens

5.1 The standard size beams from which broken portions are selected for the compression test shall be 3 by 3 by 11 $\frac{1}{4}$ in. (76 by 76 by 290 mm), but a similar test method may be used for testing specimens from other beam sizes. The beam-end specimens shall have a length at least 1 in. (25 mm) greater than their depth and shall be free from cracks, chipped surfaces, or other obvious defects. Test the specimens on their sides with respect to their molded position.

5.2 During the interval between testing of specimens as beams and testing the broken portions as cubes, keep the specimens at a constant moisture content by suitable protection.

5.3 Determine the width (original height) of the standard specimen at the point where the test will be made to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) if it is less than 3.00 in. (76.2 mm); otherwise take it equal to 3 in. (76.2 mm). Take the length equal to 3 in. (76.2 mm). Calculate the cross-sectional area.

5.4 Check the smoothness of the faces with a straightedge. If necessary, cap the faces to meet the requirements of the section on Capping Specimens, of Practice D 1632. The caps shall cover the full width of the specimen and shall be of such length as to permit adjustment of the bearing plates for the test so that the upper bearing plate may be placed directly over the lower bearing plate.

6. Procedure

6.1 Place the specimen on its side between the hardened steel bearing plates directly under the spherically seated head of the testing machine, making certain that the vertical axis of the specimen is aligned with the center of thrust of the head. Use a device such as a guide template to ensure that the upper bearing plate is directly over the lower bearing plate. As the spherically seated head is brought to bear on the top bearing plate, rotate its movable portion gently by hand so that uniform seating is obtained.

6.2 Apply the load continuously and without shock. A new power testing machine, with the moving head operating at approximately 0.05 in./min (0.02 mm/s) when the machine is running idle, may be used. With hydraulic machines, adjust the loading to a constant rate within the limits of 20 ± 10 psi (140 ± 70 kPa)/s, depending upon the length of the specimen. Record the total load at failure of the specimen to the nearest 10 lbf (45 N).

Calculation

7.1 Calculate the unit compressive strength of the specimen by dividing the maximum load by the cross-sectional area determined as described in 5.3.

Report

- 8.1 The report shall include the following:
 - 8.1.1 Specimen identification number,
 - 8.1.2 Width and length of test area, in. (or mm),
 - 8.1.3 Cross-sectional area, in.² (or mm²),
 - 8.1.4 Maximum load, to the nearest 10 lbf (40 N),
 - 8.1.5 Compressive strength, calculated to the nearest 5 psi (5 kPa),
 - 8.1.6 Age of specimen, and
 - 8.1.7 Details of curing and conditioning periods, and moisture content at time of test.

TABLE 1 Precision

	Average compressive strength, psi	Standard deviation, psi	Coefficient of variation, %
Specimens with 6 % cement	473	35	7.4
Specimens with 14 % cement	887	47	5.3

9. Precision and Bias

9.1 The precision and bias of this test method have not been established by an interlaboratory test program. However, based on test data that are available, the following may serve as a guide to the variability of compressive strength by the modified cube method.

9.1.1 Tests were performed in a single laboratory on a silt loam soil with 92 % passing the No. 200 sieve. Liquid limit and plasticity index of soil were 26 and 7, respectively. The series of tests consisted of 24 specimens, 12 at 6 % cement, 12 at 15 % cement. The specimens were cured in a moist room at 73° F for 28 days. Results⁴ of tests on the 3 by 3-in. modified cubes are given in Table 1.

⁴ Felt, E. J., Abrams, M. S., *Strength and Elastic Properties of Compacted Soil-Cement Mixtures*, ASTM STP 206, ASTM, 1957.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

