

T-UES  
1501  
C268e  
1995  
Ej. 2

**Universidad de El Salvador**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**ESTUDIO DE SUELO-CEMENTO SEMIFLUIDO PARA LA  
CONSTRUCCION DE MUROS DE RETENCION Y PILAS.**

**Trabajo de Graduación Presentado Por:**

**JOSE JAVIER CARDOZA LOPEZ  
SERGIO ALONSO CASTILLO FABIAN  
RODOLFO ANTONIO GUADRON FIGUEROA**

**Para Optar al Título de:**

**INGENIERO CIVIL**

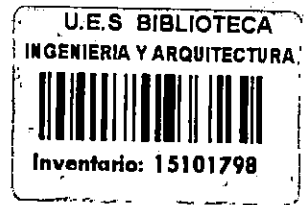
**Julio de 1995**



**San Salvador, El Salvador, Centro América**

*Recibida 15-8-95*

*15101798  
15101798*



# **UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

**DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN**

**SECRETARIO GENERAL:**

**LIC. ENNIO ARTURO LUNA**

## **FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO:**

**ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR**

**SECRETARIO:**

**ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS**

### **ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**DIRECTOR:**

**ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ**



TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A LA OPCION AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

ESTUDIO DE SUELO - CEMENTO SEMIFLUIDO  
PARA LA CONSTRUCCION DE MUROS  
DE RETENCION Y PILAS.

TRABAJO PRESENTADO POR:

JOSE JAVIER CARDOZA LOPEZ  
SERGIO ALONSO CASTILLO FABIAN  
RODOLFO ANTONIO GUADRON FIGUEROA

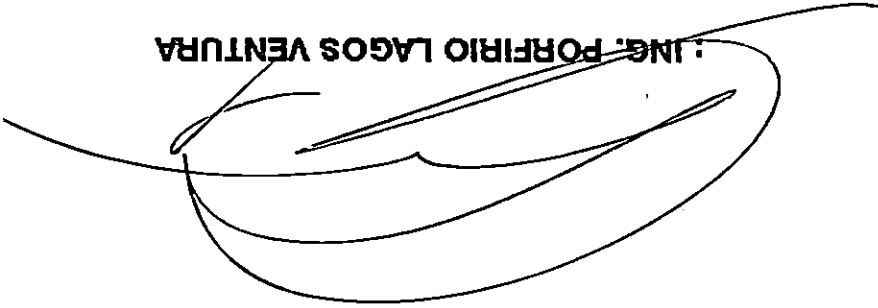
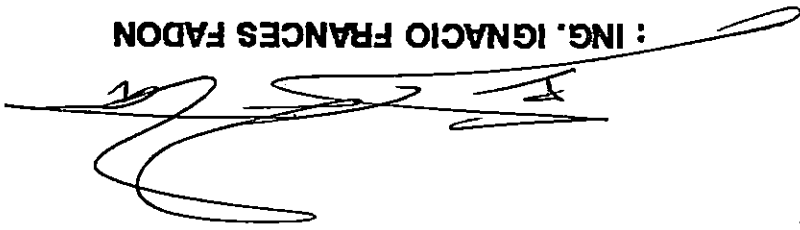
TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

COORDINADOR

ING. PORFIRIO LAGOS VENTURA

ASESOR

ING. IGNACIO FRANCIS FADON



## AGRADECIMIENTO

Queremos plasmar nuestro agradecimiento a todas las personas que de alguna forma contribuyeron a la realización de este trabajo.

### EN ESPECIAL A:

- Ing. Ignacio Francés Fadón, por orientarnos y proporcionarnos toda la ayuda necesaria en la realización del presente trabajo.
- Ing. Lagos Ventura, por su comprensión y ayuda en los momentos más críticos de nuestra formación profesional.
- Ing. Carlos Villafuerte, por disponer horas de su valioso tiempo en ayuda nuestra.
- Arq. Ligia de Francés, por su valiosa y oportuna colaboración.
- Dilber, Evelio y Emiliano, por ofrecernos su amistad y ayuda.

EL GRUPO

## DEDICATORIA

### A DIOS TODO PODEROSO:

Por haberme guiado e iluminado para superar las dificultades y llegar a concluir mi carrera.

### A MIS PADRES:

Diego Cardoza y Gloria Isabel, quienes siempre me dieron su apoyo y aliento durante mis estudios.

### A MI ESPOSA:

Evelin Johana, con todo mi amor, por su comprensión y apoyo durante todos estos años.

### A MI HIJA:

Joceline Estefanía, a quien adoro mucho y es la razón principal para todas mis metas.

### A MIS HERMANOS:

Rafael Antonio, Juan Diego, Marlene Elizabeth, Zoila América, por sus palabras de ánimo en mis estudios.

### A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

Sergio y Rodolfo, por haber alcanzado juntos la meta.

### A MIS AMIGOS Y DEMAS FAMILIARES:

Que me impulsaron a la finalización de este trabajo.

JOSE JAVIER CARDOZA LOPEZ

## DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRABAJO:

**A DIOS TODOPODEROSO:**

Por haberme dado sabiduría y paciencia para terminar este trabajo.

**A LA SANTISIMA VIRGEN MARIA:**

Por haberme iluminado y protegido en esta encomienda.

**A MIS AMADOS PADRES:**

Raquel Alejandra Fabián de Castillo y José Luciano Castillo, quienes con todo su amor y comprensión permitieron el feliz termino de este trabajo.

**A MIS QUERIDOS HERMANOS:**

Koky, Nidia, Ethel, Adolfo y Fabio, por toda su confianza.

**A MI SOBRINO:**

Adolfo Eduardo, con mucho cariño.

**A MIS ABUELOS:**

Juana Fabián y Dr. Gerardo Adolfo Berríos, quienes siempre estuvieron pendientes de mis triunfos.

SERGIO ALONSO CASTILLO FABIAN

dar este paso definitivo.

A todas las personas que de alguna forma me ayudaron a

**Y EN GENERAL:**

culminación de este trabajo.

Javier y Rodolfo, por todo su esfuerzo en la

**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:**

todo su afecto, cariño y amistad.

en especial a Carmen, Dina González y Eisi, por brindarme

Yolanda, Brenda, Zita, Silvia, Alma, Sonia, Cathy; y

Fabio, Yuri, Geovanny, Reynaldo, Walter, Rómulo, Héctor,

Ing. Luna, Ing. Ochoa, Guillermo, Mario Sol, Mauricio,

Jaime Rodríguez, Ing. Eduardo Osegueda, Arq. Santamaria,

Ing. Monteaquedo Corcio, por permitir superarme, Ing.

**A MIS AMIGOS:**

corazón.

Aracely, a quien llevo dentro de mi mente y mi

**A MI QUERIDA NOVIA:**

todo su amor y confianza.

primos: Stanley, Gustavo y Doris Irene, que me han dado

Tío Guayo (Q.D.D.G.), Don Armando, Doris Fabián; y mis

**A MIS QUERIDOS TIOS:**

## TRABAJO QUE DEDICO

### A DIOS TODOPODEROSO Y A SAN JUDAS TADEO

Por haberme guiado e iluminado hasta la culminación de mi carrera.

### A MIS AMADOS PADRES:

Cecilia Figueroa (Q.D.D.G.), Agustín Guadrón, con toda gratitud, por haberme dado la vida, la formación moral e intelectual.

### A MI ESPOSA Y AMIGA:

Ana Mirian Oliva de Guadrón, con todo mi amor, por su paciencia, comprensión y apoyo que me impulsó siempre a seguir adelante.

### A MIS HERMANOS:

Wilfredo Guadrón Figueroa, Ofinda Edibeth Guadrón Figueroa, Nicolás Antonio Guadrón Figueroa, María Edith Figueroa, por su cariño y animo en mis estudios.

A MIS COMPAÑEROS DEL SEMINARIO DE GRADUACION, AMIGOS Y DEMAS FAMILIARES: que me impulsaron a la finalización de este trabajo.

RODOLFO ANTONIO GUADRON FIGUEROA



# I N D I C E

	Pág
<b>CAPITULO I</b>	
<b>GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 OBJETIVOS GENERALES	6
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	6
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES	7
<b>CAPITULO II</b>	
<b>MARCO TEORICO DE LOS ASPECTOS TECNICOS</b>	<b>9</b>
2.1 MATERIALES	9
2.1.1 SUELO	9
2.1.2 CEMENTO	10
2.1.3 AGUA	12
2.2 SUELO CEMENTO	14
2.2.1 DEFINICION	14
2.2.2 CLASIFICACION SEGUN CONSISTENCIA	16
2.2.2.1 SUELO CEMENTO RIGIDO	17
2.2.2.2 SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO	17
2.2.2.3 SUELO CEMENTO FLUIDO	17
2.2.3 FORMAS DE COMPACTACION	18

	Pág.
2.3 PROPIEDADES DEL SUELO CEMENTO	19
2.3.1 COMPRESION	20
2.3.2 TENSION	22
2.3.3 CORTANTE	24
2.3.4 ADHERENCIA	25
2.3.5 ABSORCION	27
2.4 ANALISIS DE <del>ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS DE</del> <i>Recopilación y Analisis de</i> INVESTIGACIONES SOBRE EL SUELO CEMENTO	29

### CAPITULO III

#### PRUEBAS PRELIMINARES 39

3.1 PROGRAMA DE PRUEBAS PRELIMINARES	39
3.1.1 PROPIEDADES MECANICAS	39
3.1.2 ELABORACION DE MEZCLAS	49
3.1.3 ELEMENTOS DE PRUEBA	64
3.1.4 PRUEBAS	64
3.2 ANALISIS DE LOS RESULTADOS	92

### CAPITULO IV

#### PRUEBAS FINALES 98

4.1 PROGRAMA DE PRUEBAS FINALES	99
4.1.1 ELABORACION DE MEZCLAS	99

	Pág.
4.1.2 ELEMENTOS DE PRUEBA	100
4.1.3 PRUEBAS	105
4.2 ANALISIS DE RESULTADOS	115

## CAPITULO V

TRABAJO DE CAMPO	119
5.1 DISEÑO DE MUROS	120
5.2 CONSTRUCCION DE MURO DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO	130
5.2.1 ESCOGITACION DEL SITIO	130
5.2.2 ANALISIS DEL SUELO	131
5.2.3 DISEÑO DE LA MEZCLA	131
5.2.4 PROCESO CONSTRUCTIVO	132
5.3 EXTRACCION DE NUCLEOS Y PRUEBA A LA COMPRESION	134
5.4 ANALISIS DE RESULTADOS	137
5.5 ANALISIS ECONOMICO	137
5.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148

## BIBLIOGRAFIA

## ANEXOS

**CAPITULO I**  
**GENERALIDADES**

**1.1 ANTECEDENTES**

Desde hace varios siglos, la tierra ha sido utilizada para diferentes tipos de construcción, como podemos comprobar en los hallazgos culturales de diferentes zonas, en los cuales se puede apreciar la elaboración de cocinas, hornos, tejas, pisos, incluso la construcción de sus viviendas a base de tierra (bahareque, adobe, etc.).

El afán de toda cultura que ha usado el suelo para construir ha sido mejorar sus propiedades, intentándolo de diversas formas.

Con el transcurrir del tiempo y el avance de las técnicas de ingeniería, se ha comprobado que al mezclar tierra y cemento se obtiene lo que se conoce como Suelo Cemento, con lo que se logra una notable mejoría en sus propiedades.

El origen de la idea de mezclar el suelo y cemento para producir un material estructural no ha sido

establecido con exactitud. En los Estados Unidos la primera información oficial se refiere a una patente registrada en 1917 con el nombre de "SOILAMIES", para uso en carreteras, pero se tiene noticias de que hay ideas e intentos para combinar suelos con cemento que anteceden a esa fecha. En 1920 se registró otra patente con el nombre de "SOILCRETE", también para el uso en carreteras. Fue hasta 1932 que oficialmente se empezó a trabajar con este nuevo material, cuando el Departamento de Carreteras del Estado de Carolina del Sur, en la búsqueda de un material que habilitara a los caminos para cualquier época del año, pero que al mismo tiempo fuera de bajo costo, empezó a hacer investigaciones con la mezcla de suelos y cemento bajo la dirección de su jefe el Dr. C. H. Moorefield; se hicieron pruebas en caminos entre los años de 1933 y 1934 con varios espesores, obteniéndose siempre un material endurecido que no formaba zanjas o se desplazaba en invierno, no se desintegraba ni formaba fangales ni polvaredas. Si bien en aquellos tiempos la reacción del suelo y cemento mezclados no era muy clara, si quedaba demostrado que eran materiales compatibles y que se pueden combinar para construir una carretera apropiada.<sup>1</sup>/

---

<sup>1</sup>/ Tecnología y Aplicaciones del Suelo Cemento. Agustín Antonio Castro, 1970. Tesis, UES.

Debido a que se obtuvieron buenos resultados con el uso de este material, se realizaron estudios teóricos y se incremento su aplicación.

También se tienen conocimientos que en el año 1939, Argentina experimenta el suelo cemento, habiéndose hecho en 1942, un tramo de carretera de 15 kms. que está en uso en la actualidad, prácticamente sin costo de mantenimiento.

El suelo cemento tiene una variada aplicación en toda la rama de la Ingeniería, por ejemplo:

- Núcleos de presas de tierra.
- Revestimientos de canales y cunetas.
- Plazas de parques y patios de bodegas.
- Embalses, depósitos o lagunas de oxidación.
- Pistas de aterrizaje, etc.<sup>2</sup>/

En estas aplicaciones se combina la adición de cemento con una compactación uniforme en capas de adecuado espesor y con un contenido de humedad óptimo.

---

<sup>2</sup>/ Tecnología del Concreto Tomo IV. El Suelo Cemento Aplicado a la Construcción de Carreteras. Ballardó Rolando Arriaza, 1970, Tesis, UES.

El Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento (CINVA), establecido por la Secretaria General de la O.E.A. en la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, como parte del programa de cooperación técnica de la O.E.A., ha iniciado e impulsado con bastante éxito el manejo del suelo cemento en Sudamérica, con edificaciones que aunque por lo general son de tipo experimental, dan la pauta a otros países para introducir y desarrollar esta clase de material para construcciones.

En 1957, en Colombia se realiza la construcción de una vivienda experimental a base de suelo cemento.<sup>3</sup>/

Dado que la resistencia de suelo cemento se basa principalmente en dos hechos, la presencia del cemento, que sirve como elemento aglutinante químico, y en la compactación mecánica del suelo o mezcla; se posibilita el sustituir este último procedimiento por un método vibratorio, que produciendo el mismo efecto que la compactación mecánica, la disminución de vacíos, facilite el trabajo en ciertos elementos; siendo necesario el trabajar con mezclas semifluidas o fluidas para que

---

<sup>3</sup>/ Mampostería de Suelo Cemento para Vivienda de Bajo Costo. Francisco Miranda Romero. 1985. Tesis, UES.

respondan a la vibración.<sup>4\_</sup>/

En nuestro país se han realizado estudios de suelo cemento con mezclas semifluidas tales como:

- "Suelo Cemento de Ceniza Volcánica; utilización del Suelo Cemento en la Construcción de Vivienda". Presentado por los ingenieros Roberto Arango Quezada, Mauricio Corrlin, Ena Leticia Padilla y Carlos Solano. 1972.
- "Aplicación de Suelo Cemento a la Vivienda Mínima". Presentada por el Ingeniero Francés Fadón y el Ingeniero Jaime Antonio Sánchez en marzo de 1976.
- "Aplicación del Suelo Cemento a la Vivienda Mínima II". Presentado por los ingenieros José Antonio Huevo Solis y Salvador Alvarado Flores en 1983.
- "Mampostería de Suelo Cemento para la Vivienda de Bajo Costo (utilizando cemento especial de mampostería)". Presentado por Francisco Miranda Romero en 1985.

---

<sup>4\_</sup>/ Aplicación del Suelo Cemento a la Construcción de Vivienda Mínima. Ignacio Francés Fadón. 1976. Tesis, UES.



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVOS GENERALES

Obtener información de las propiedades mecánicas, dosificación y métodos constructivos del suelo cemento semifluido, a través de investigaciones bibliográficas y pruebas de laboratorio; así como verificar su aplicación en la construcción de muros de retención y pilas de cimentación, considerando su factibilidad técnica y económica.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Someter a prueba especímenes elaborados con mezclas de diferentes tipos de suelos (variando sus porcentajes de agua y cemento), para la determinación de propiedades mecánicas.

Seleccionar las dosificaciones que proporcionen propiedades mecánicas similares o mejores que las del suelo cemento tradicional.

Establecer métodos de vibrado y curado con el

propósito de mejorar las propiedades mecánicas en el suelo cemento semifluido.

Determinar métodos de control en el campo que permitan mantener la misma dosificación mezcla a mezcla.

Comparar resultados de las propiedades mecánicas que se obtengan en el campo con las obtenidas en el laboratorio.

Determinar a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio y campo, si es factible técnicamente la construcción de muros de retención y pilas de cimentación.

Comparar desde el punto de vista económico, los muros de retención y pilas de suelo cemento semifluido, con otros tradicionalmente usados, verificando su factibilidad.

### **1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES**

#### **ALCANCES**

De acuerdo con las aplicaciones que tiene el SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO, se pretende hacer un estudio de este

material para la construcción de muros de retención y pilás, con el propósito de determinar las propiedades mecánicas del mismo, y su comportamiento al ser empleado en estos elementos. Al mismo tiempo, verificar si es factible, desde el punto de vista técnico y económico con respecto a los de mampostería de piedra.

### LIMITACIONES

La investigación se limitara al estudio de arena limosa (70% Arena - 30% Limo), limo arenoso (53% Limo - 47% Arena) y limo-arenoso (70% Limo - 30% Arena), que de aquí en adelante en esta investigación le llamaremos limo, conocidos como tierra blanca.

Se seleccionara un banco de préstamo para cada tipo de material en estudio.

## CAPITULO II

### "MARCO TEORICO DE LOS ASPECTOS TECNICOS"

#### 2.1 MATERIALES

##### 2.1.1 SUELO

Es el resultado de la desintegración y/o descomposición de las rocas, por procesos físicos y químicos, que pueden acumularse en el lugar de origen o ser transportados y depositados en otro sitio, adquiriendo una estructura determinada (ver ref. 1, capítulo I, pág. 2), la cual puede ser excavada utilizando equipo mecánico de poca intensidad y equipo manual. Su composición la constituyen básicamente partículas sólidas, líquidas y gases.

La formación de los suelos se origina de la desintegración mecánica y descomposición química de la roca madre (ígneas, sedimentaria y metamórfica), que debido a la intemperización, continuamente se transforma y cambia su composición química y mineralógica, así como sus propiedades físicas y mecánicas. La alteración se debe a la acción del agua, a los cambios de clima, a la acción de la flora y fauna, el aire y debido al hombre mismo.

Este estudio se centrara específicamente en el análisis del comportamiento del material comúnmente conocido como "tierra blanca", la cual es una ceniza volcánica de color blanco marfil, compuestas principalmente por cenizas dacíticas y tobas de pómez que poseen un alto porcentaje de vidrio volcánico, y muy pequeña proporción otros minerales.<sup>5</sup>/

De acuerdo a la granulometria se ha clasificado en arenas limosas, limos arenosos y limos, a los que se les denominara de ahora en adelante como suelo.

#### 2.1.2 CEMENTO

El cemento Portland esta definido por la norma A.S.T.M. C-150-89, como el producto de silicatos de calcio hidráulico.

#### COMPOSICION

Las materias primas principales son: materiales calcáreos y materiales arcillosos, de los cuales se derivan

---

<sup>5</sup>/ Aplicación del Suelo Cemento a la Construcción de Vivienda Mínima. Ignacio Francés Fadón, 1976. Tesis, UES.

los principales constituyentes que son: cal, sílice y alumina, además con pequeñas cantidades de óxido de hierro, magnesia, trióxido de sulfuro, alcalis y bióxido de carbono.

Los elementos cal, sílice, alumina y hierro se combinan para formar los siguientes compuestos: Silicato tricálcico; cuyas propiedades influyen en las características más importantes del cemento, las cuales son: tiempo de fraguado y resistencia.

#### TIPOS DE CEMENTO PORTLAND

Se fabrican diferentes tipos de cemento para determinar propiedades físicas y químicas para casos especiales. La norma A.S.T.M. C-150 describe ocho tipos de cemento Portland.

- TIPO I Para uso general en las construcciones que no especifiquen propiedades especiales.
- TIPO II Resistente al ataque moderado de los sulfatos.
- TIPO III Obtiene una alta resistencia a temprana edad.
- TIPO IV Es un cemento de bajo calor de hidratación y se debe usar donde el grado y la cantidad de calor

generado debe reducirse al mínimo.

TIPO V Resiste el efecto intenso de los sulfatos.

Los tipos IA, IIA y IIIA, corresponden en composición a los tipos I, II y III respectivamente; contienen cantidades de inclusores de aire mezclados con la escoria durante su manufactura.<sup>6\_</sup>/

Otros: Cemento hidraulico establecidos por la norma ASTM C-595-86.

### 2.1.3 AGUA

Por sus efectos sobre el suelo cemento, la calidad del agua interesa bajo dos aspectos diferentes:

- a) Como agua de mezclado al elaborar el suelo cemento fresco.
- b) Como agua de contacto con el suelo cemento endurecido, ya sea como agua de curado o como elemento que forma parte del medio que lo rodea.
- c) Como agua de mezclado, sus impurezas pueden tener efectos principales sobre el tiempo de fraguado y resistencia del suelo cemento.

---

<sup>6\_</sup>/ Materiales y Métodos Constructivos para la Vivienda Marginal y Rural (Parte III). Gustavo Alejandro Calderón, 1988. Tesis, UES.

Al ser aplicada como agua de curado, sus posibles efectos son más bien de apariencia por contener sales que manchen o produzcan eflorescencia sobre la superficie del suelo cemento.

Finalmente como agua que forma parte del medio que rodea al suelo cemento; cuando contiene sustancias agresivas, sus efectos son más decisivos, pudiendo llegar a extremos en que se produzca la destrucción del suelo cemento si no se toman las precauciones debidas.

Con frecuencia se menciona que el agua es buena para ser bebida (agua potable), es útil para elaborar el suelo cemento; pero ésto no siempre es valido. Algunas aguas con pequeñas cantidades de azúcar o con cierto sabor pueden ingerirse pero no sirven para el suelo cemento, y de la misma forma hay aguas que sin ser potables pueden ser utilizadas para mezclar con suelo cemento, según la cantidad y calidad de las impurezas que contengan.<sup>7\_</sup>/

La resistencia mecánica del suelo cemento además de depender de la granulometría del material, de la dosificación de la mezcla, de la compactación y del curado,

---

<sup>7\_</sup>/ Manual de Concreto. Parte I, México 1970.



también depende de la cantidad de agua utilizada en la mezcla.

El agua junto con el cemento reaccionan para generar propiedades mecánicas adecuadas; sin embargo utiliza una cantidad determinada para hidratarse (aprox.  $A/C = 0.23$ ) y toda la que se excede se evapora posteriormente, produciendo vacíos que disminuyen la resistencia. Para efectos de realizar las pruebas, se utilizara agua suministrada por A.N.D.A.

## 2.2 SUELO CEMENTO

### 2.2.1 DEFINICION

El suelo cemento se define como el resultado que se obtiene al mezclar suelo, cemento y agua, en proporciones específicas, bajo determinadas condiciones, con el propósito de que adquieran condiciones mecánicas favorables. Estas propiedades se deben principalmente a la hidratación del cemento y a la energía de compactación.

Los problemas que tiene el uso del suelo cemento se originan en las características propias de los suelos; su gran variedad y el comportamiento diferente en cada caso.

La adición de cemento y agua, además de la compactación son factores que modifican las propiedades mecánicas del suelo para producir un material fuerte, duradero y estable.

Se ha logrado establecer que el 85% de los suelos usados para suelo cemento, se modifican convenientemente con el 14% o menos de cemento, también es cierto que más del 50% de los mismos requieren solamente el 10% de cemento, lo que hace imprescindible estudiar diferentes suelos.<sup>a</sup>/

En el país se ha comprobado que el uso de la tierra blanca (ceniza volcánica de color marfil), compuesta por cenizas dacíticas y silicatos hidratados de alumina y álcalis, hacen que las propiedades mecánicas del suelo cemento, se logren alcanzar con porcentajes menores de cemento que al usar otros suelos. Esto se debe al contenido de ácido silícico que contienen algunas partículas del suelo, la cual tienen la propiedad de reaccionar al entrar en contacto con la cal libre del cemento, adquiriendo propiedades cementantes.

---

<sup>a</sup>/ Tecnología y Aplicaciones del Suelo Cemento. Agustín Antonio Castro. Tesis, UES.

### 2.2.2 CLASIFICACION SEGUN CONSISTENCIA

Atendiendo a las condiciones físicas, el suelo cemento en su estado fresco, puede clasificarse en suelo cemento rígido, suelo cemento semifluido y suelo cemento fluido.

La diferencia esencial entre estos tipos de suelos cemento es la cantidad de agua que se le agrega, ya que al incrementar el porcentaje de agua en una mezcla de suelo cemento, aumenta su trabajabilidad, esto representa la ventaja de requerir menor energía mecánica de compactación, sin embargo la resistencia disminuye al mantener el cemento constante, lo que implica que para mantener constante la resistencia se requiere incrementar el cemento según aumente la trabajabilidad.

En el suelo cemento rígido la energía mecánica de compactación se suministra a través de equipos pesados y livianos (rodillo liso, rodillo pata de cabra, bailarinas, etc.), en el suelo cemento semifluido se suministra a través de un vibrador; en cambio en el suelo cemento fluido no se requiere de equipos para suministrar la energía mecánica de compactación ya que se reacomoda por si mismo.

#### 2.2.2.1 SUELO CEMENTO RIGIDO

El suelo cemento rígido también llamado "Suelo Cemento Tradicional", es una mezcla semiseca, ya que solo requiere de una cantidad de agua necesaria para mantener la compacta mediante equipos convencionales utilizados en la compactación de suelos, tales como rodillo liso, rodillo pata de cabra, bailarinas, etc.

*Apilador*

#### 2.2.2.2 SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO

El suelo cemento semifluido, tal como el suelo rígido, es una mezcla homogénea compuesta por suelo y cemento, difiriendo del anterior por contener una cantidad de agua mayor, hasta formar una mezcla cuya trabajabilidad sea tal, que con el efecto de vibrado facilite el reacomodo de esta mezcla. Por efecto de la vibración se logra pasar de una mezcla con consistencia semifluida a una fluida mientras dure la vibración; (esto es de fluido no newtoniano a fluido newtoniano).

#### 2.2.2.3 SUELO CEMENTO FLUIDO

El suelo cemento fluido es una mezcla cuya

trabajabilidad se obtiene mediante el incremento del agua hasta el punto de que no se requiere de mayor acción externa para acomodarse en el lugar donde se necesite, y tomar la forma requerida hasta endurecer y alcanzar la resistencia deseada, comportandose como fluido newtoniano en estado fresco.

### 2.2.3 FORMAS DE COMPACTACION

La compactación de un suelo busca la reducción del volumen de vacíos, mejorando el contacto entre las partículas; con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas y minimizar las deformaciones. Este proceso implica la reducción de los vacíos originándose de esta forma cambios de volumen debidos a la pérdida de volumen de aire.

En conclusión, con la compactación de los suelos se pretende obtener un suelo con propiedades mecánicas adecuadas a las características del proyecto, que permanezcan durante la vida útil de la obra.

Cuando la compactación se realiza con suelo cemento, las propiedades mecánicas del suelo se mejoran tanto por la

acción mecánica como por las propiedades químicas del cemento. La forma de compactarlo dependerá de la consistencia de la mezcla.

En el suelo cemento rígido, los métodos de control, la forma y equipos de compactación son los mismos utilizados en la compactación de suelos, con la limitante que el tiempo de manejo, colocación y compactación es de 2 horas.

La compactación de un material semifluido se logra a través de la reducción de vacíos, por medio de la vibración interna o externa.

El suelo cemento fluido se reacomoda por su propio peso, siendo necesario vibrado eliminar burbujas de aire que puedan haber quedado atrapadas en la zona de contacto del suelo-cemento con el molde.

### **2.3 PROPIEDADES DEL SUELO CEMENTO.**

El suelo cemento posee propiedades mecánicas que permite que sea utilizado en diferentes maneras, como la elaboración de bloques, base de carreteras, elaboración de paneles y en cimentaciones. De estas propiedades se

estudiaran aquellas que tienen mayor incidencia en la construcción de muros de retención y pilas, tal es el caso de la resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, cortante, además de la adherencia y absorción; que son prácticamente las que garantizan las resistencias y durabilidad del material.

### 2.3.1 COMPRESION

La resistencia a la compresión es la propiedad que debe tener el suelo cemento semifluido endurecido para soportar los esfuerzos derivados de las diversas condiciones de carga a los que puede estar sometido; ésta se deduce en razón de la magnitud del esfuerzo que produce la falla de la probeta sometida a un ensayo de compresión.

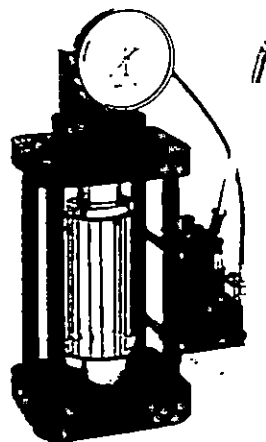
La resistencia a la compresión es la propiedad que permite que el suelo cemento sea utilizado para soportar carga, además es la fuerza principal que se analiza en los elementos de cimentación tal es el caso en los muros de retención y pilas.

El ensayo de compresión es la prueba mas sencilla, rápida y de resultados más confiables, porque se efectúa sobre especímenes que siguen una serie de rigurosas

especificaciones.

Es necesario que las muestras se obtengan, elaboren, curen y se rompan bajo condiciones normalizadas para que los resultados obtenidos en diferentes épocas, lugares y por distintos mecanismos sean comparables.

El ensayo consiste en someter los especímenes, al cabo de un cierto tiempo de haber sido elaborados, a una carga creciente que produzca esfuerzos de compresión en toda el área transversal de una probeta, hasta alcanzar el máximo que pueda resistir el espécimen, conocido este esfuerzo como esfuerzo máximo de ruptura ( $F'_{sc}$ )<sup>9/</sup>. Este ensayo se realiza en base a la norma ASTM C-39-86 (ver anexo N° 1).



Cilindro a compresión

---

<sup>9/</sup> Suelo cemento fluido, para la estabilización de suelos, Cruz Anibal Najera Montoya, Tesis de la UPES. Nov./94.

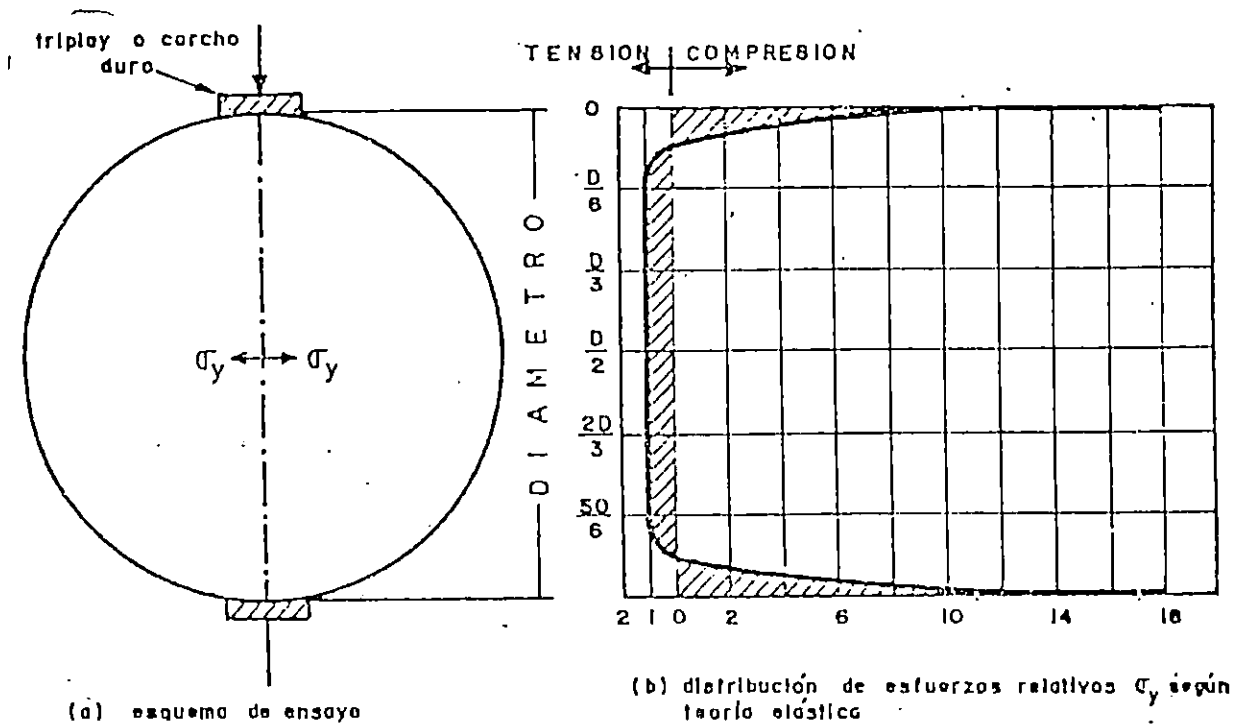


### 2.3.2 TENSION

Resistencia a la tensión es una propiedad mecánica muy importante para verificar el comportamiento en el suelo cemento, ya que dá un parámetro de la capacidad de corte y la compresión de la estructura. Para efectos de análisis en los elementos en estudio, esta propiedad no debe considerarse ya que una vez el elemento trabaje a tensión y se agriete pierde esta propiedad.

La prueba de resistencia a tensión por agrietamiento establecido por la norma ASTM 496-86 conocida como (prueba brasileña), (ver anexo nº 2), se hará con cilindros de suelo cemento; sirve para establecer el desarrollo de las características de resistencia del suelo cemento semifluido a la tensión por compresión.

El material presenta la ventaja de usar los mismos elementos que la prueba a compresión, lo que evita dificultades de interpretación por diferencias entre las probetas por su forma de elaboración.



Distribución de esfuerzos y tipo de carga en la prueba brasileña.

## EQUIPO

Maquina manual para ensayo de compresión.

## MATERIAL

Tiras de corcho

Cilindros de suelo cemento colado en condición semifluida.

## PROCEDIMIENTO

Se coloca el cilindro horizontalmente y se aplica la carga diametral, aplicando la formula siguiente para calcular el esfuerzo de tensión.

$$\sigma_t = \frac{2 P}{\pi D L}$$

- $\sigma_t$  : Esfuerzo de tensión.  
 $\pi$  :  $\pi = 3.141592654$ .  
 P : Carga aplicada en kgs.  
 D : Diámetro del cilindro en cms.  
 L : Longitud de cilindro en cms.

### 2.3.3 CORTANTE

Resistencia al cortante, es la capacidad que tienen los elementos para evitar agrietamientos a lo largo de su estructura propiciadas por tensiones diagonales.

La falla de un cuerpo por efecto de esfuerzos de cortante ocurre, generalmente, a través de grietas inclinadas debido a tensiones diagonales. Estas grietas, se forman a lo largo de las juntas; propiciadas por la debilidad de la unión de capa y capa.

Esta prueba se realizará a prismas de suelo cemento con dimensiones que tienen una relación uno a uno con el objeto de evitar que exista excentricidad al instante de aplicar la carga cortante, para dicho ensayo se aplicara la norma ASTM E519 (para bloques). (Ver anexo nº 3).

#### 2.3.4 ADHERENCIA

Esta es una propiedad del suelo cemento semifluido, ya que con ella se analiza el esfuerzo de adherencia que se desarrolla en una junta fría (unión de una mezcla de suelo cemento semifluido endurecido con otra fresca).

Para el ensayo de adherencia cumpliremos con la norma ASTM C-952-76 (Ver anexo nº 4)

#### EQUIPO UTILIZADO

- 1) Maquina PT-15
- 2) Marco metálico para sujetar los prismas.

**PROCEDIMIENTO**

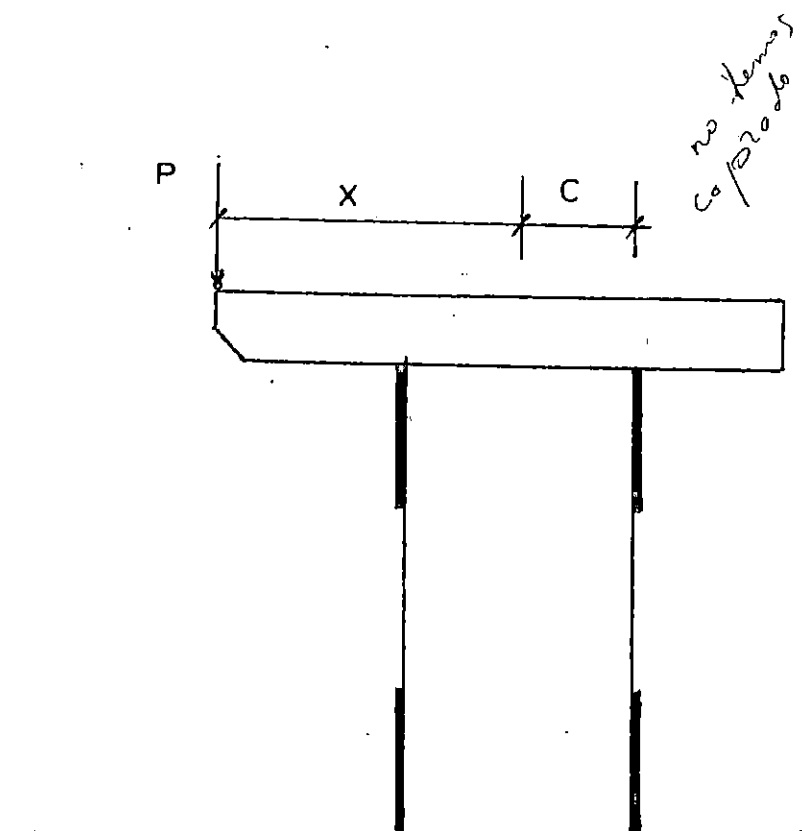
- no lo colocamos*
- El proceso de ejecución de la prueba de adherencia inicia con la elaboración de prismas de suelo cemento semifluido endurecido.
  - Se coloca el marco metálico sobre la plataforma de la maquina PT-15.
  - En seguida se colocan los prismas en el marco; aprisionándolos para evitar el deslizamiento del marco.
  - A continuación se le aplica la carga excéntrica.

**MATERIALES**

- Prismas de suelo cemento semifluido.

La formula que se usara para el calculo del esfuerzo de adherencia será:

$$\sigma_{adh} = \frac{xpc}{lg} = \frac{p}{A}$$



- $\sigma_{adh}$  = Esfuerzo de adherencia.  
 $x$  = Excentricidad de la carga en cms.  
 $p$  = Carga aplicada en kgs.  
 $c$  = Distancia del eje del prisma a la cada lateral del ladrillo.  
 $I_g$  = Momento de inercia gruesa del prisma.  
 $A$  = Area del prisma.

### 2.3.5 ABSORCION

Esta es la propiedad que mide la cantidad de agua retenida por el suelo cemento, que es capaz de incorporar el material hasta llenar completamente sus poros permeables, después de permanecer sumergido en agua, y es expresada en porcentaje del peso del material seco.

La absorción adquiere importancia en aquellos casos en que la estructura se encuentra en contacto con agua que contiene sustancias dañinas que pudieran agredir al cemento, que es elemento de liga.

Las especificaciones ASTM C-90 (ver anexo nº 5) para bloques establecen que el tiempo de absorción es de 24 horas, tiempo sobre el cual se considera que el material se satura. La absorción del material depende de su porosidad y de la intercomunicación de sus poros, por lo que la velocidad de absorción o el tiempo de saturación varía de un material a otro.

Aunque haya una absorción alta, no deteriorara las propiedades mecánicas del suelo cemento, a diferencia de los suelos tradicionales, que pierden sus propiedades mecánicas por saturación.

El agua de absorción corresponde a lo que un material es capaz de retener después de una inmersión de 24 horas, luego eliminar el agua superficial, es decir llevándolo a la condición de saturado superficialmente seco.<sup>1º</sup>/

---

<sup>1º</sup>/ Paneles de concreto ligero para divisiones, José Humberto Larios Cerón, Francisco Antonio Castillo, Joaquín Serrano Choto, Tesis de la UES. 1986.

#### 2.4 ANALISIS DE ALGUNOS RESULTADOS OBTENIDOS DE INVESTIGACIONES SOBRE SUELO CEMENTO.

Para tener una mejor base respecto a las propiedades del suelo cemento semifluido, se han recopilado resultados de investigaciones hechas con este tipo de mezclas, con el objeto de compararlos para obtener los parámetros que permitan determinar los porcentajes de agua cemento que se usaran en las pruebas preliminares, así como también tenerlos como base de comparación con los resultados que se obtengan.

A continuación se presentan una serie de datos, recopilados de la tesis "Aplicación del suelo cemento a la construcción de vivienda mínima". Ignacio Francés Fadón, 1976, Tesis UES. En los cuales se varían el porcentaje de cemento y dejando el agua constante para determinar la influencia que tiene el incremento de cemento, (ver cuadro 2.1, pág. 30).

Así mismo se presentan resultados en los que se ha variado el agua y dejando el cemento constante, determinando de esta forma la influencia en la resistencia al variar el agua. (Ver cuadro 2.2, pág. 30).



**CUADRO Nº 2.1**  
**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE SUELO CEMENTO**

% SUELO	% AGUA	% CEMENTO EN FUNCION DE LA MEZCLA	F'c 7 DIAS	F'c 14 DIAS	F'c 28 DIAS	% CEMENTO EN FUNCION DEL PESO SECO DEL SUELO
68.22	27	4.78	20.39	27.10	35.02	7
67.59	27	5.41	24.73	35.64	46.57	8
66.97	27	6.03	33.65	42.60	54.15	9
66.66	27	6.64	36.66	52.68	62.37	10
65.77	27	7.23	38.34	54.70	----	11
65.18	27	7.82	40.72	66.81	76.84	12
64.60	27	8.40	43.43	68.23	82.84	13
64.04	27	8.96	48.25	71.61	90.70	14
53.48	27	9.52	64.80	73.39	90.20	17.8

Estas pruebas se realizaron con el 27% de agua del total de la mezcla.

**CUADRO Nº 2.2**  
**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE SUELO CEMENTO**

% SUELO	% AGUA	% CEMENTO EN FUNCION DE LA MEZCLA	F'c 7 DIAS	F'c 14 DIAS	F'c 28 DIAS	% CEMENTO EN FUNCION DEL PESO SECO DEL SUELO	% AGUA EN FUNCION DE PESO SECO DEL SUELO
68.03	25.17	6.80	43.67	60.04	74.02	10	37
67.12	26.17	6.71	40.79	55.95	67.44	10	39
65.37	28.10	6.53	32.53	44.69	55.90	10	43
64.52	29.03	6.45	31.18	41.50	51.07	10	45
63.69	29.94	6.37	26.27	36.75	45.96	10	47
66.67	26.00	7.33	44.53	59.63	74.41	11	39
64.94	27.92	7.14	36.07	48.70	62.46	11	43
64.10	28.85	7.05	33.14	41.18	55.17	11	45
63.29	29.75	6.96	28.19	39.76	48.17	11	47

Estas pruebas se realizaron con el 10 y 11% de cemento en función del peso seco y variando el porcentaje de agua.

CONDICIONES GENERALES DE ELABORACION DE ESPECIMENES .  
TESIS "APLICACION DEL SUELO-CEMENTO A LA CONSTRUCCION DE  
VIVIENDA MINIMA", IGNACIO FRANCES FADON, UES.

Suelo: 40.26% de Limo, 59.74% de Arena

- 1) Las mezclas del suelo se elaboraron con pala en una batea metálica.
- 2) Se coló la mezcla en cilindros metálicos con dimensiones, altura= 31 cms., diámetro = 15.5 cms.
- 3) Cada cilindro se coló en tres etapas.
- 4) Cada una de las capas se vibró 30 segundos con el vibrador de 1 HP de potencia con un vástago de 7/8" de diámetro y una frecuencia que varía entre 12,000 y 10,000 oscilaciones por minuto.
- 5) Fueron colados nueve cilindros por prueba, realizando tres mezclas, de cada una de las cuales se obtuvieron tres cilindros.
- 6) Se destinó un cilindro de cada mezcla para ser probado a compresión a los 7, 14 y 28 días.

- 7) Los cilindros fueron desmolados 24 horas después de su elaboración e introducidos inmediatamente en el cuarto húmedo.
- 8) Estos cilindros fueron sacados a los 7, 14 y 28 días respectivamente, dejándolos secar dentro del laboratorio de Suelos y Materiales (a la intemperie) durante 7 días adicionales.
- 9) Los cilindros fueron cabeceados con una sierra para mampostería.
- 10) Estos cilindros fueron rotos en la máquina Universal (que posee el Laboratorio de Suelos y Materiales) con una velocidad de deformación de 1.0 mm/min, usando el rango de carga de 40,000 kg.
- 11) Se tomó únicamente la carga última (ruptura).

#### **INTERPRETACION DE RESULTADOS**

En el cuadro 2.1, las pruebas se han realizado manteniendo el agua constante y variando los porcentajes de cemento en función del peso seco del suelo, lo que facilita

observar que las resistencias aumentan según se le agrega más cemento. Estos porcentajes varían desde el 7% al 14% del cemento en función del peso seco del suelo, con resistencias a la compresión a los 28 días de 35.02 kg/cm<sup>2</sup> a 90.70 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Mientras que en el cuadro 2.2, se varió el porcentaje de agua, manteniendo el porcentaje de cemento constante; en los cuales se tiene para un 10% de cemento una variación del 37% al 47% de humedad, observando que la resistencia a la compresión a los 28 días disminuye desde un 74.02 kg/cm<sup>2</sup> a 45.96 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

A continuación se presentan cuadros con resultados recopilados de la teoría **"Mampostería de Suelo Cemento para Vivienda de Bajo Costo"**, presentada por Francisco Mirando Romero, acerca de la resistencia a la compresión de bloques y cilindros elaborados con suelo-cemento.

CUADRO 2.3

## RESISTENCIA A LA COMPRESION A BLOQUES DE SUELO-CEMENTO\*

	EDAD (DIAS)	F' sc (KG/CM <sup>2</sup> )	% HUMEDAD
1:5	7	24.52	29.2
	14	36.58	29.2
1:15	7	11.47	15.6
	14	19.76	15.6
1:20	7	10.33	19.0
	14	15.41	19.0

\* Usando cemento de mampostería.

CUADRO Nº 2.4

## RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDRO DE SUELO-CEMENTO

PROPORCION (VOL.)	F' sc (KG/CM <sup>2</sup> ) 28 DIAS	F' sc (KG/CM <sup>2</sup> ) CORREGIDA POR ESBELTEZ
1:5	48.38	44.99
1:15	29.60	27.53
1:20	28.33	26.36
1:25	16.55	15.36
1:30	14.64	13.59

CONDICIONES GENERALES DE ELABORACION PARA  
ESPECIMENES DE PRUEBA

PARA BLOQUES:

- Bloques de suelo cemento, elaborados con "SM" (Arena Limosa) y cemento para mampostería.

- Altura 11 cms.
- Ancho 14 cms.
- Largo 29 cms.

#### PARA CILINDROS:

- Cilindros elaborados con suelo y cemento especial de mampostería.
- Altura de cilindro de 11.7 cms.
- Diámetro del cilindro de 10 cms.

#### INTERPRETACION DE RESULTADOS

En la serie de pruebas que se presentan en el cuadro 2.3, las cuales se realizaron con suelo cemento, se obtuvo la mayor resistencia a la compresión a los 28 días de 36.58 kg/cm<sup>2</sup> con una proporción en volumen de 1:5 y una humedad de 29.2%, en cambio en las elaboradas con cilindros del mismo material y con la misma proporción, la resistencia a compresión a los 28 días (corregida por esbeltez) arrojó un resultado de 44.99 kg/cm<sup>2</sup>, siendo esta la mayor de las resistencias obtenidas, las cuales están contempladas en el cuadro 2.4.

Los cuadros que se presentan a continuación, muestran los resultados de pruebas a compresión de bloques de suelo-cemento, obtenidos del seminario de graduación "Materiales y Métodos Constructivos para la Vivienda Marítima y Rural" (Parte II), presentada por Ing. Roberto Otoniel Berzanza Estrada, UES, 1987.

11  
96

**CUADRO 2.5**

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE BLOQUES DE SUELO CEMENTO

SUELO		%	%	%	A/C	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM <sup>2</sup> )
ARENA	LIMO				7	14
74.91	25.09	67.73	6.77	25.5	3.77	31.60
49.23	50.77	62.27	6.23	31.0	5.01	26.36
22.70	77.30	59.09	5.91	35.0	5.92	17.09
27.27						27.27
35.58						

10% de cemento en función del peso seco del suelo.

**CUADRO 2.6**

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE BLOQUES DE SUELO CEMENTO

SUELO		%	%	%	A/C	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM <sup>2</sup> )
ARENA	LIMO				7	14
74.91	25.09	68.98	5.52	25.5	4.62	24.63
49.23	50.77	63.89	5.11	31.0	6.07	22.18
40.89						40.89
54.38						

8% de cemento en función del peso seco del suelo.

**CUADRO 2.7**

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE BLOQUES DE SUELO CEMENTO

SUELO		%	%	%	A/C	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM <sup>2</sup> )
ARENA	LIMO				7	14
74.91	25.09	66.52	7.98	25.5	3.2	41.86
49.23	50.77	61.61	7.39	31.0	4.2	30.47
56.17						56.17
84.38						

12% de cemento en función del peso seco del suelo.

## CONDICIONES GENERALES PARA LA ELABORACION DE ESPECIMENES DE PRUEBA.

- Método de vibrado: Mesa vibratoria de 7500 rpm.
- Tiempo de vibrado: 60 segundos
- Bloques de suelo cemento con dimensiones:
  - Altura = 19 cms
  - Ancho = 15 cms
  - Largo = 39 cms.

## EQUIPO

- Mezcladora de eje vertical
- Molde de bloques
- Extractor de bloque

## CURADO

Los bloques fueron colocados en una zona bajo techo, ventilada y siendo rociados con agua tres veces al día.

## INTERPRETACION DE RESULTADOS

En los cuadros 2.5, 2.6 y 2.7 se observa un incremento



en la resistencia a la compresión, cuando los porcentajes de arena aumentan en los suelos. Lo mismo sucede al aumentar el porcentaje del cemento en función del peso seco del suelo.

### **CONCLUSION**

Los resultados obtenidos en estudios anteriores presentados en los cuadros antes descritos, se tomarán como base aquellos cuyas resistencias favorezcan los aspectos técnicos y económicos que se pretenden alcanzar en el presente seminario.

### CAPITULO III

#### "PRUEBAS PRELIMINARES"

Para que el método investigado sea aplicable en cualquier suelo no plástico, se investigara el comportamiento de tres tipos de suelos que cubran todo el espectro granulométrico, desde un limo hasta una arena.

Para esto se han investigado diversos bancos de suelos, hasta encontrar tres que representen las dos granulometrías extremas y una intermedia.

A partir de estos tres tipos de suelos, se trabajarán mezclas con diversas proporciones de cemento, las que se han clasificado como preliminares, y que servirán como base para poder predecir el comportamiento de las mezclas que se elaboren en el campo.

#### 3.1 PROGRAMA DE PRUEBAS PRELIMINARES

##### 3.1.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

Con el fin de determinar las propiedades mecánicas del suelo cemento semifluido, se han estudiado muestras de

suelos de diferentes bancos, a los cuales se les ha realizado un análisis granulométrico con el objeto de determinar sus características y clasificarlos de acuerdo a los porcentajes de arena y limo que estos poseen. De esta forma se seleccionarán tres bancos de préstamo que no teniendo plasticidad contengan los materiales con las características predefinidas en este estudio: a) alto porcentaje de arena, b) porcentajes similares de arena y limo, y c) bajos porcentajes de arena.

De entre los estudiados se seleccionaron los bancos que se encuentran ubicados en los siguientes lugares:

#### **BANCO DE PRESTAMO Nº 1**

Localizado sobre el km 7½ de la carretera a Santo Tomás, colonia Buenos Aires. En esta zona se ha comprobado mediante la investigación de los cortes realizados, que los suelos predominantes son los areno-limosos, que son arenas limosas color café claro con mezcla de pómez.

Los espesores de este material alcanzan aproximadamente unos 15 mts. También se encuentran en esta zona, suelos limo arenosos, con un porcentaje de arena

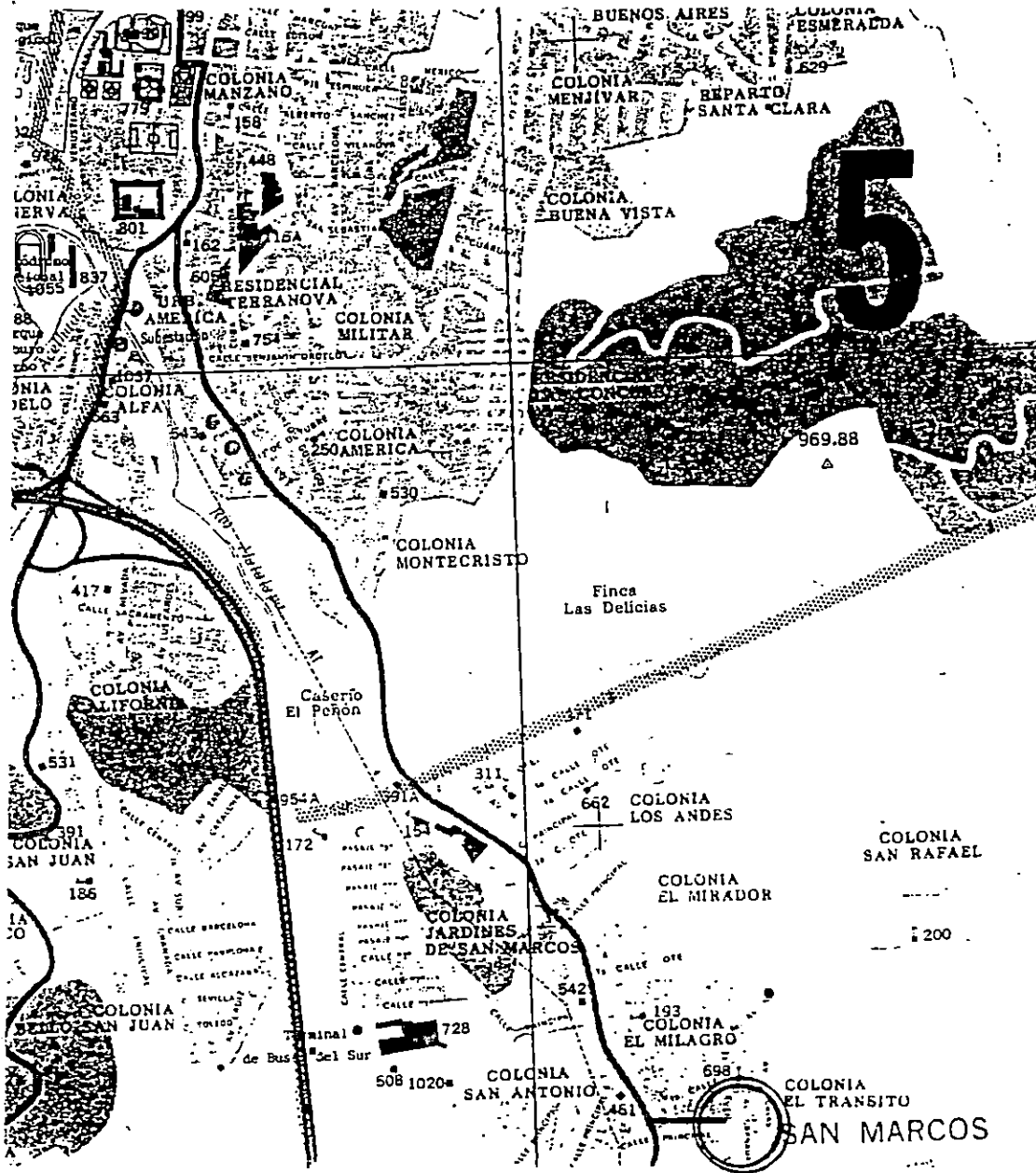
entre el 20% y 40%, ubicados bajo el estrato de arenas limosas (ver esquema N°1).

#### **BANCO DE PRESTAMO N° 2**

Ubicado al sur-poniente de la ciudad de San Salvador, en la urbanización Santa Elena, una zona en pleno desarrollo urbanístico, que presenta superficialmente estratos de limo arenosos no plásticos, en porcentajes entre el 40% y 60% (Ver esquema N°2).

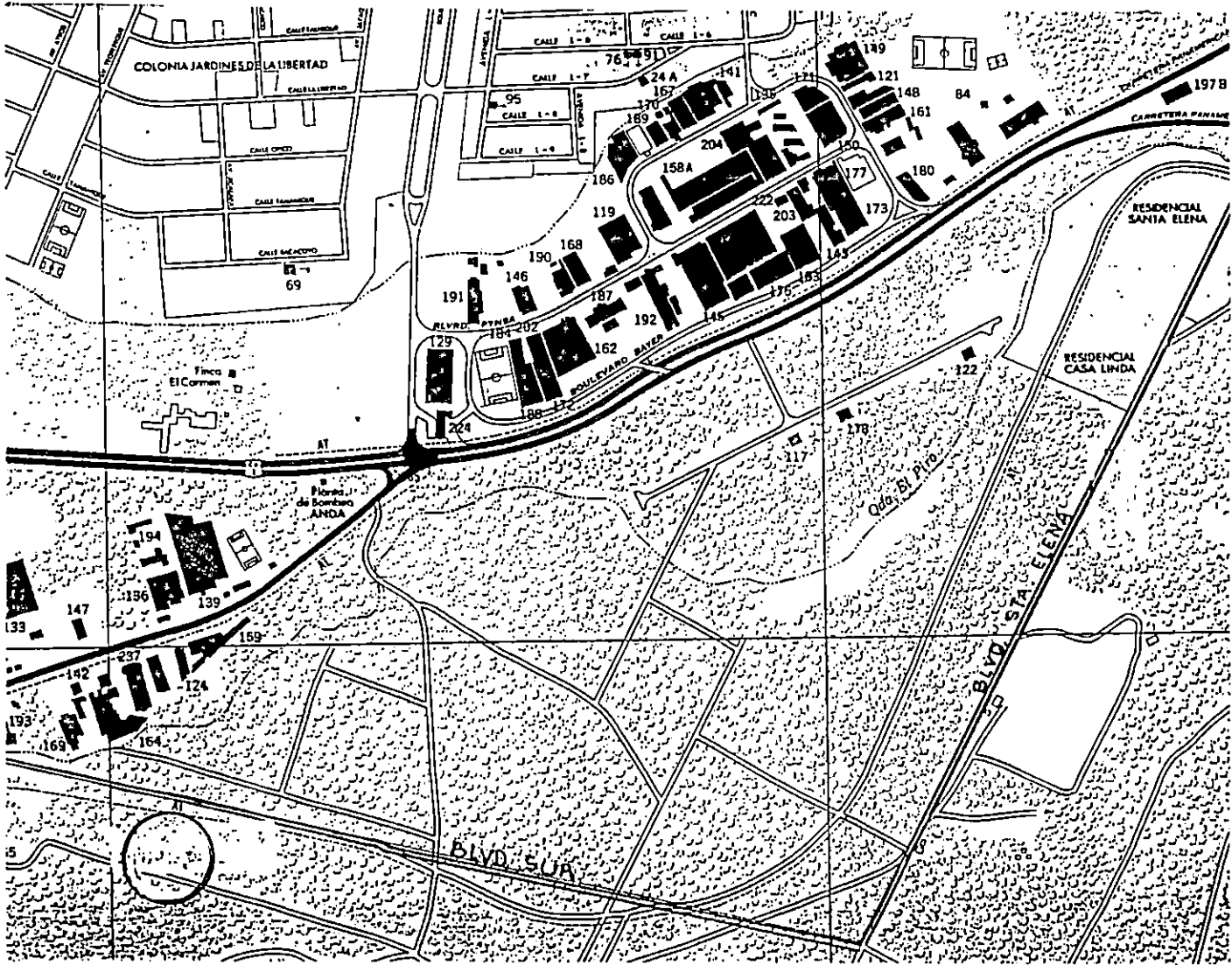
#### **BANCO DE PRESTAMO N° 3**

Situado sobre el km 7½ de la carretera que conduce a Santo Tomás, en colonia Buenos Aires, y se encuentra bajo el estrato del Banco de Préstamo N° 1. (Ver esquema N°1).



ESQUEMA N°1.

UBICACION DE BANCO DE PRESTAMO N°1 Y BANCO DE PRESTAMO N°3



ESQUEMA N°2.

UBICACION DE BANCO DE PRESTAMO N°2

## ANALISIS GRANULOMETRICO

El análisis granulométrico consiste en separar y clasificar por tamaño los granos que componen un suelo. El análisis se elaboró bajo el procedimiento por lavado que establece la norma A.S.T.M. C-117. (Ver anexo 6).

Para este análisis se hizo primero una granulometría por lavado en la malla N<sup>o</sup>200, procediendo a tamizar posteriormente, el suelo retenido, según el procedimiento establecido en dicha norma, en las mallas 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

Los resultados de los análisis granulométricos se encuentran en los cuadros siguientes:

## ANALISIS GRANULOMETRICO

B.P. N°1

UBICACION: KM 7½ CARRETERA A STO.

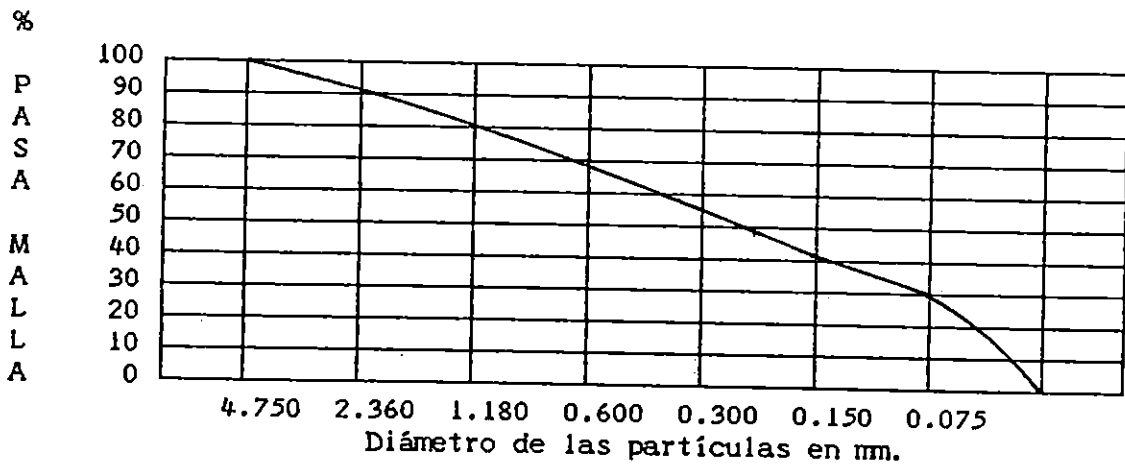
TOMAS. SAN MARCOS

PESO BRUTO: 1041.3 gr.

TARA: 74.3 gr.

PESO NETO: 967 gr.

MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL gr.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
Nº4	2.00	0.21	0.21	99.79
Nº8	72.30	7.48	7.69	92.31
Nº16	91.00	9.41	17.10	82.90
Nº30	128.90	13.33	30.43	69.57
Nº50	144.50	14.95	45.38	54.62
Nº100	132.70	13.73	59.11	40.89
Nº200	105.50	10.91	70.02	29.98
PASAN Nº200	289.90	29.98	100.00	0.00
SUMAS	966.80	100.00		



MALLA Nº 4 8 16 30 50 100 200



## ANALISIS GRANULOMETRICO

B.P. Nº2

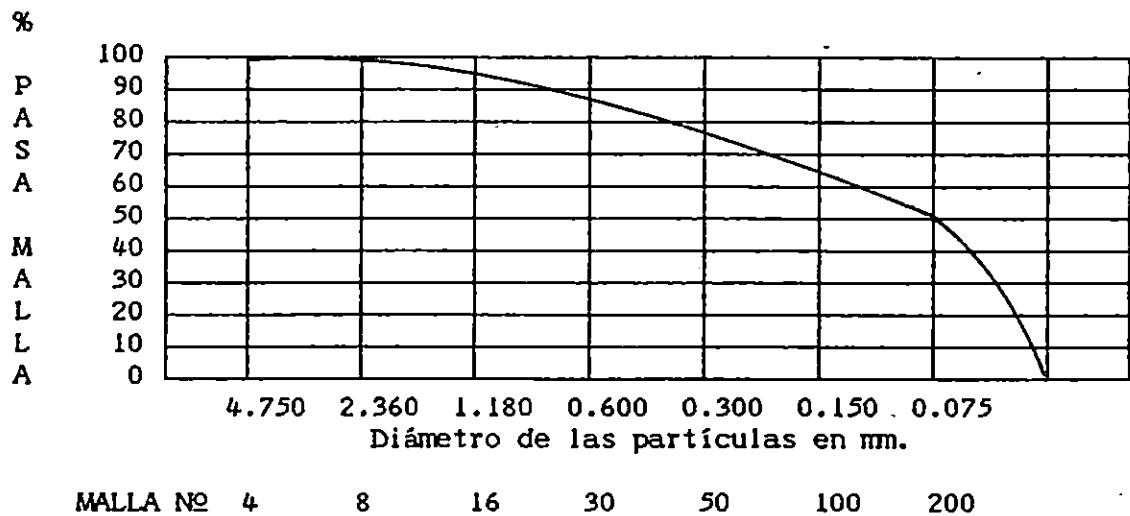
UBICACION: RESIDENCIAL SANTA ELENA

PESO BRUTO: 767.4 gr.

TARA: 41.3 gr.

PESO NETO: 726.1 gr.

MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL gr.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
Nº4	0.50	0.07	0.07	99.93
Nº8	12.00	1.65	1.72	98.28
Nº16	22.50	3.10	4.82	95.18
Nº30	47.00	6.48	11.30	88.70
Nº50	75.10	10.35	21.65	78.35
Nº100	93.10	12.83	34.48	65.52
Nº200	90.40	12.45	46.93	53.07
PASAN Nº200	385.10	53.07	100.00	0.00
SUMAS	725.70	100.00		



## ANALISIS GRANULOMETRICO

B.P. N°3

UBICACION: KM 7½ CARRETERA A STO.

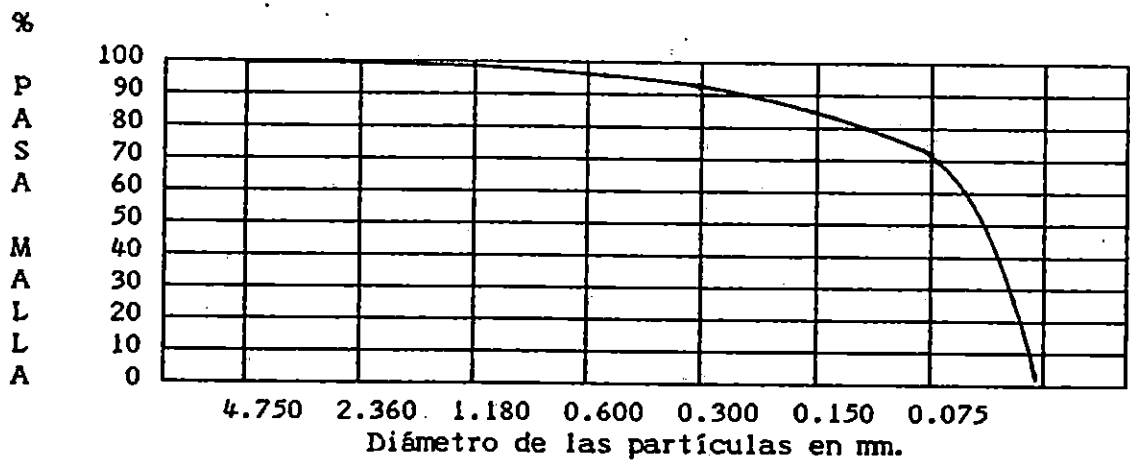
TOMAS. SAN MARCOS

PESO BRUTO: 851.0 gr.

TARA: 165.3 gr.

PESO NETO: 685.7 gr.

MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL gr.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
Nº4				
Nº8	0.90	0.13	0.13	99.87
Nº16	0.60	0.09	0.22	99.78
Nº30	12.70	1.86	2.08	97.92
Nº50	27.60	4.04	6.12	93.88
Nº100	54.40	7.96	14.08	85.92
Nº200	83.50	12.21	26.29	73.71
PASAN Nº200	504.00	73.71	100.00	0.00
SUMAS	683.70	100.00		



MALLA Nº 4 8 16 30 50 100 200

## RESUMEN DE LOS ANALISIS GRANULOMETRICOS

De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos clasificar las muestras de suelo de la siguiente forma:

**BANCO DE PRESTAMO Nº 1:** Arena limosa, ya que más del 50% del material quedó retenido en la malla Nº 200.

**BANCO DE PRESTAMO Nº 2:** Limo arenoso, más del 50% del material pasa la malla Nº 200 y más del 40% se retiene en dicha malla.

**BANCO DE PRESTAMO Nº 3:** Más del 50% del material pasa la malla Nº 200 y menos del 30% se retiene. Para efectos de poder diferenciarlos del material del B.P. Nº2, a este suelo se le denominara "Limo".

### CUADRO RESUMEN

BANCO DE PRESTAMO	ARENA (%)	LIMO (%)	CLASIFICACION
1	70.02	29.98	ARENA LIMOSA
2	46.93	53.07	LIMO ARENOSO
3	26.29	73.71	LIMO

### 3.1.2 ELABORACION DE MEZCLAS

Para garantizar la uniformidad del suelo durante las pruebas de laboratorio y evitar distorsiones, éste se tamizó por la malla N<sup>o</sup>4, con el propósito de impedir la presencia de grumos de suelo en los que al no penetrar el cemento produzcan zonas de baja resistencia; eliminando a la vez las gravas gruesas de pómez, que por su tamaño, dificultan el libre movimiento de las aspas de la mezcladora.

La mezcladora utilizada para la elaboración de estas mezclas, es de flujo forzado (eje horizontal), en las que las aspas giran independientes del tazón, desprendiendo de esta forma el material adherido a las paredes, razón para la elección de este tipo de mezcladora respecto a las de tolva basculante (ver fotografía N<sup>o</sup> 3.1).

Para las dosificaciones de las mezclas de suelo cemento semifluido, se tomo como parámetros algunos resultados de investigaciones anteriores, así como una serie de mezclas previas elaboradas con diferentes porcentajes de cemento y agua. Las cuales no se consignan en este documento ya que únicamente sirvieron para establecer



Fotografía N°3.1 Mezcladora de Eje Horizontal

parámetros básicos para la serie de pruebas preliminares, optándose en base a todo ello por estudiar las dosificaciones 1:8, 1:10, 1:12 y 1:14 (cemento-suelo) (proporciones en volumen).

Para efectos de realizar las pruebas en el laboratorio y tener una información más confiable, estas proporciones volumétricas se trasladaron a pesos en función del peso seco, y para ello se hizo necesario determinar el peso volumétrico suelto de cada material para transformar las proporciones volumétricas a proporciones en peso.

## DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO SUELTO

### a) ARENA LIMOSA

TARA	9.6514 KG
PESO 1	14.640 KG
PESO 2	14.612 KG
PESO PROMEDIO	14.626 KG

Volumen del recipiente:	14.33 lts = 0.01435 m <sup>3</sup>
Peso volumétrico húmedo:	1019.23 kg/m <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco suelto:	993.4 Kg/m <sup>3</sup>

### b) LIMO ARENOSO

TARA	9.6514 KG
PESO 1	13.294 KG
PESO 2	13.081 KG
PESO 3	13.287 KG
PESO PROMEDIO	13.221 KG

Volumen del recipiente:	14.35 lts = 0.01435 m <sup>3</sup>
Peso volumétrico húmedo:	921.32 kg/m <sup>3</sup>
Peso volumétrico seco suelto:	887.5 kg/m <sup>3</sup>

## c) LIMO

TARA	9.6514 KG
PESO 1	12.231 KG
PESO 2	12.459 KG
PESO 3	12.459 KG
PESO PROMEDIO	12.383 KG

Volumen del recipiente: 14.35 lts = 0.01435 m<sup>3</sup>

Peso volumétrico húmedo: 862.93 kg/m<sup>3</sup>

Peso volumétrico seco suelto: 753.00 kg/m<sup>3</sup>

## EJEMPLO DE COMO SE TRANSFORMO DE VOLUMEN A PESO:

ARENA LIMOSA : 1:8

1 BOLSA DE CEMENTO : 0.0283 m<sup>3</sup>

SUELO = 0.0283 X 8 : 0.2264 m<sup>3</sup>

PESO DEL SUELO = 0.2264 m<sup>3</sup> \* 993.4 kg/m<sup>3</sup> = 224.91 kg

CEMENTO : 42.5 kg

% DE CEMENTO : 42.5 kg / 224.91 kg = 18.9%

De igual forma se calculó para cada uno de los materiales, cuyos resultados se encuentran en los cuadros siguientes:

ARENA LIMOSA	
PROPORCION EN VOLUMEN	PORCENTAJE DE CEMENTO EN PESO
1:8	18.90
1:10	15.00
1:12	12.60
1:14	10.80

LIMO ARENOSO	
PROPORCION EN VOLUMEN	PORCENTAJE DE CEMENTO EN PESO
1:8	21.00
1:10	16.90
1:12	14.00
1:14	12.00

LIMO	
PROPORCION EN VOLUMEN	PORCENTAJE DE CEMENTO EN PESO
1:8	24.90
1:10	19.90
1:12	16.60
1:14	14.20



## **CONTENIDO DE HUMEDAD**

Para la determinación de los contenidos de humedad, que proporcionen la trabajabilidad que permita que el suelo cemento se comporte como semifluido, se elaboraron varias mezclas variando los porcentajes de agua y dejando constante el cemento. Para mantener la consistencia de las mezclas elaboradas, se utilizaron tres métodos, que sirvieron como indicadores de la trabajabilidad de estas mezclas. De estos métodos se eligió el más sensible a los cambios de contenido de humedad para ser utilizado en todas las mezclas elaboradas.

### **a) MESA DE FLUIDEZ**

Debido a la consistencia de las mezclas en estudio, clasificadas como semifluidas, el uso de este método, no presento ningún parámetro de medición de la trabajabilidad para mezclas semifluidas, ya que la máxima consistencia que se logro establecer, no cumple con los requerimientos de consistencia para este tipo de mezclas.

### **b) BOLA DE KELLY**

A pesar que se ha demostrado que este método es sencillo en su aplicación, para la determinación de la trabajabilidad, presentó la dificultad de no poder efectuar

las lecturas de penetración de la bola, debido a que ésta se sumergió totalmente, sobrepasando la máxima lectura del equipo, por lo que no sirvió para diferenciar la trabajabilidad de las mezclas al nivel del contenido de humedad.

**c) CONO DE REVENIMIENTO**

Al hacer uso del cono de revenimiento, se comprobó que es un método efectivo para medir la trabajabilidad de la mezcla, y poder clasificarla de acuerdo a su consistencia: esto se debe a que permitió con mucha facilidad apreciar las variaciones en el revenimiento de las mezclas, al variar los contenidos de humedad de estas, lo que permite controlar los porcentajes de agua de las mezclas a elaborar.

**LA PRUEBA DE REVENIMIENTO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA DEL SUELO CEMENTO CONSISTE EN:**

Se coloca el cono para determinar el revenimiento sobre una superficie plana que no sea absorbente. Se mantiene firmemente en su sitio mientras el operador lo llena parándose sobre las dos orejas especiales. El cono se llena en tres capas, cada una de éstas de aproximadamente

un tercio del volúmen del cono, y cada una de ellas se apisona veinticinco veces. Se levanta el cono cuidadosamente en posición vertical. El revenimiento se mide inmediatamente, valiéndose del apisonador y de una regla, cuando el suelo-cemento se ha revenido, se mide cuidadosamente la distancia de la parte superior media del suelo cemento a la parte superior del molde para determinar "el revenimiento"<sup>11</sup>/. (ver fotografía N°3.2).



Fotografía N°3.2. Proceso de Obtención de Revenimiento.

Teniendo establecido el método que permite medir la trabajabilidad de las mezclas, se procedió al análisis de los porcentajes de agua para cada uno de los tres suelos seleccionados, para conocer la incidencia que tiene el agua en dichas mezclas, y de esta forma poder establecer los rangos de humedades que permitan que las mezclas se comporten como semifluidas.

Para el material del Banco de Préstamo N°1, arena limosa, se elaboraron mezclas con humedades comprendidas entre el 26% y el 32%, habiéndose encontrado que con humedades inferiores a 28%, las mezclas presentan dificultad en su colocación al no responder a la vibración, necesitando de excesivo tiempo y energía de compactación para lograr reacomodarse; por tal razón se dice que se encontraban dentro del rango semirígido. Mientras que en el intervalo comprendido entre 28% y 30% de humedad, la mezcla sí respondió a la vibración, pese a la pérdida de trabajabilidad que las mezclas presentan con el transcurso del tiempo debido a la absorción de agua libre por parte de las partículas del suelo.

Las mezclas elaboradas con humedades mayores del 30% presentaron una consistencia fluida, es decir que no

requirieron de vibración para su reacomodo, usándose ésta únicamente para la eliminación del aire atrapado.

En base a estas observaciones, y con el objeto de cumplir algunos de los objetivos planteados en esta investigación, en cuanto a mezclas semifluidas, se optó por trabajar con humedades del 28, 29 y 30%, para estudiar la influencia de la humedad en la resistencia del suelo cemento.

Se hizo el mismo análisis para el limo arenoso y el limo, encontrándose que el primero alcanza el estado semifluido con humedades comprendidas entre 41 y 43%, mientras que el segundo alcanza el mismo estado con humedades que oscilan entre 41 y 45%, lo que se refleja en el siguiente cuadro, cuyos valores se usaron en las pruebas preliminares.

ARENA LIMOSA	LIMO ARENOSO	LIMO
28%	41%	41%
29%	42%	43%
30%	43%	45%

Como puede observarse, existe una notable diferencia en cuanto a las humedades requeridas para alcanzar el

estado semifluido entre un material y otro, lo que se debe básicamente al tamaño de las partículas que componen un suelo, ya que entre mayor sea el tamaño de las partículas, menor será el área específica.

Habiéndose establecido los porcentajes de cemento y agua para cada material se procede a la dosificación de las mezclas.

#### EJEMPLO DE CALCULO DEL PROPORCIONAMIENTO DEL MATERIAL EN PESO Y PORCENTAJE

Material:	LIMO
Proporción Volumétrica:	1:8
Porcentaje de cemento en peso:	24.9%
Porcentaje de agua de la mezcla total:	45%

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

Recipiente	Nº 1	Nº 2
Peso húmedo + Tara	144.9	148.6
Peso seco + Tara	106.7	136.5
Agua	38.2	12.1
Tara	42.2	42.2
Peso Seco	64.5	94.3
% w	12.7%	12.8%
% w Promedio		12.75%

Peso de suelo húmedo	100 kg	
Peso de suelo seco	$\frac{100}{1 + 0.1275}$	= 88.69 kg.
Peso de cemento	0.249 (88.69)	= 22.08 kg
Peso de agua	(0.45-0.1275) (88.69) + 0.45 (22.08)	= 38.54 kg

De igual forma se calculó para todos los materiales.

### COMPOSICION DE LA MEZCLA EN PORCENTAJES

Tomando como 100% el suelo húmedo se tiene:

Suelo	100%	Porcentaje de suelo $\frac{100}{169.9} \times 100 = 58.86\%$
Agua	4.9%	Porcentaje de agua $\frac{4.5}{169.9} \times 100 = 26.48\%$
Cemento	<u>24.9%</u>	Porcentaje de cemento $\frac{24.9}{169.9} \times 100 = 14.66\%$
TOTAL	169.9%	

$$\text{RELACION A/C} = \frac{26.48}{14.66} = 1.81$$

De igual forma se calcularon los porcentajes para las demás mezclas consignándose los resultados en los cuadros 3.1, 3.2, 3.3 que se presentan a continuación:

## CUADRO 3.1

## COMPOSICION DE LA MEZCLA EN PORCENTAJE

ARENA-LIMOSA 1:8					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
28%	11-20	68.07	19.06	12.87	1.48
29%	21-30	67.61	19.61	12.78	1.53
30%	1-10	67.16	20.15	12.69	1.59

ARENA-LIMOSA 1:10					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
28%	131-140	69.93	19.58	10.49	1.87
29%	141-150	69.44	20.14	10.42	1.93
30%	151-160	68.97	20.69	10.34	2.00

ARENA-LIMOSA 1:12					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
28%	201-210	71.12	19.92	8.96	2.22
29%	211-220	70.62	20.48	8.90	2.30
30%	261-270	70.13	21.03	8.84	2.38

ARENA-LIMOSA 1:14					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
29%	281-290	71.53	20.74	7.73	2.68



**CUADRO 3.2**  
**COMPOSICION DE LA MEZCLA EN PORCENTAJE**

LIMO-ARENOSO 1:8					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
41%	31-40	61.73	25.31	12.96	1.95
42%	51-60	61.35	25.77	12.88	2.00
43%	41-50	60.98	26.22	12.80	2.05

LIMO-ARENOSO 1:10					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
41%	111-120	63.33	25.97	10.70	2.43
42%	121-130	62.93	26.43	10.64	2.48
43%	171-180	62.54	26.89	10.57	2.54

LIMO-ARENOSO 1:12					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
41%	221-230	64.52	26.45	9.03	2.93
42%	191-200	64.12	26.92	8.97	3.00
43%	181-190	63.69	26.39	8.92	3.07

LIMO-ARENOSO 1:14					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
42%	271-280	64.94	27.27	7.79	3.5

CUADRO 3.3

## COMPOSICION DE LA MEZCLA EN PORCENTAJE

LIMO 1:8					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
41%	71-80	60.28	24.71	15.01	1.65
43%	61-70	59.56	25.61	14.83	1.73
45%	81-90	58.86	26.48	14.66	1.81

LIMO 1:10					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
41%	91-100	62.15	25.48	12.37	2.06
43%	101-110	61.39	26.39	12.22	2.16
45%	161-170	60.64	27.29	12.07	2.26

LIMO 1:12					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
41%	231-240	63.45	26.02	10.53	2.47
43%	241-250	62.66	26.94	10.40	2.59
45%	251-260	61.88	27.85	10.27	2.71

LIMO 1:14					
HUMEDAD	CILINDROS	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
43%	291-300	63.62	27.35	9.03	3.03

### 3.1.3 ELEMENTOS DE PRUEBA

En esta serie de pruebas preliminares se procedió a elaborar, diez cilindros de cada mezcla, para disponer de 8 para ser probados a compresión por parejas a las edades de 7, 14, 28 y 60 días, y los dos restantes ensayarlos a tensión, mediante la prueba brasileña, a los 28 días.

### 3.1.4 PRUEBAS

#### COMPRESION

El ensayo de resistencia a la compresión del suelo cemento semifluido endurecido, se hizo en base a la norma ASTM C39-86 (ver anexo N°1) para cilindros de muestra, a los 7, 14, 28 y 60 días, con el fin de obtener un índice de la resistencia del suelo cemento semifluido a diferentes edades, y así poder elaborar una curva de Resistencia-Edad para cada uno de los tipos de suelo y para cada dosificación (Ver cuadros 3.4 al 3.15 págs. 67 a la 87).

## TENSION

Para el ensayo de resistencia a la tensión se probaron cilindros a los 28 días utilizando la Norma ASTM 496-86 conocida como prueba brasileña (ver anexo N<sup>o</sup>2), cuyos resultados se presentan en los cuadros N<sup>o</sup> 3.16 al 3.21, págs. 90 - 91).

## CONDICIONES GENERALES DE ELABORACION DE ESPECIMENES.

- 1) Las mezclas se elaboraron en una mezcladora de eje horizontal (ver fotografía N<sup>o</sup>3.1, pag. 50). Se mezcló inicialmente el agua y el cemento durante 1 minuto, agregando posteriormente el suelo, dándole al conjunto 5 minutos de mezcla adicional, para garantizar la uniforme distribución del cemento y el agua en la mezcla.
- 2) Con la mezcla elaborada, se hicieron los elementos de prueba, colándolos en moldes cilíndricos metálicos estándar de 12 pulgadas de altura por 6 pulgadas de diámetro.
- 3) Cada cilindro se coló en dos capas, vibrando cada una

con un vibrador de vástago de 7/8 de pulgada y de 10,000 revoluciones por minuto, durante un tiempo comprendido entre 3 y 5 segundos.

- 4) Los cilindros se desmoldaron 72 horas después de su elaboración, con el objeto de evitar el desmoronamiento de las aristas superiores de los cilindros.
- 5) El curado de los cilindros de muestras se realizó sumergiéndolos en agua durante el tiempo de curado requerido para cada una de las pruebas.

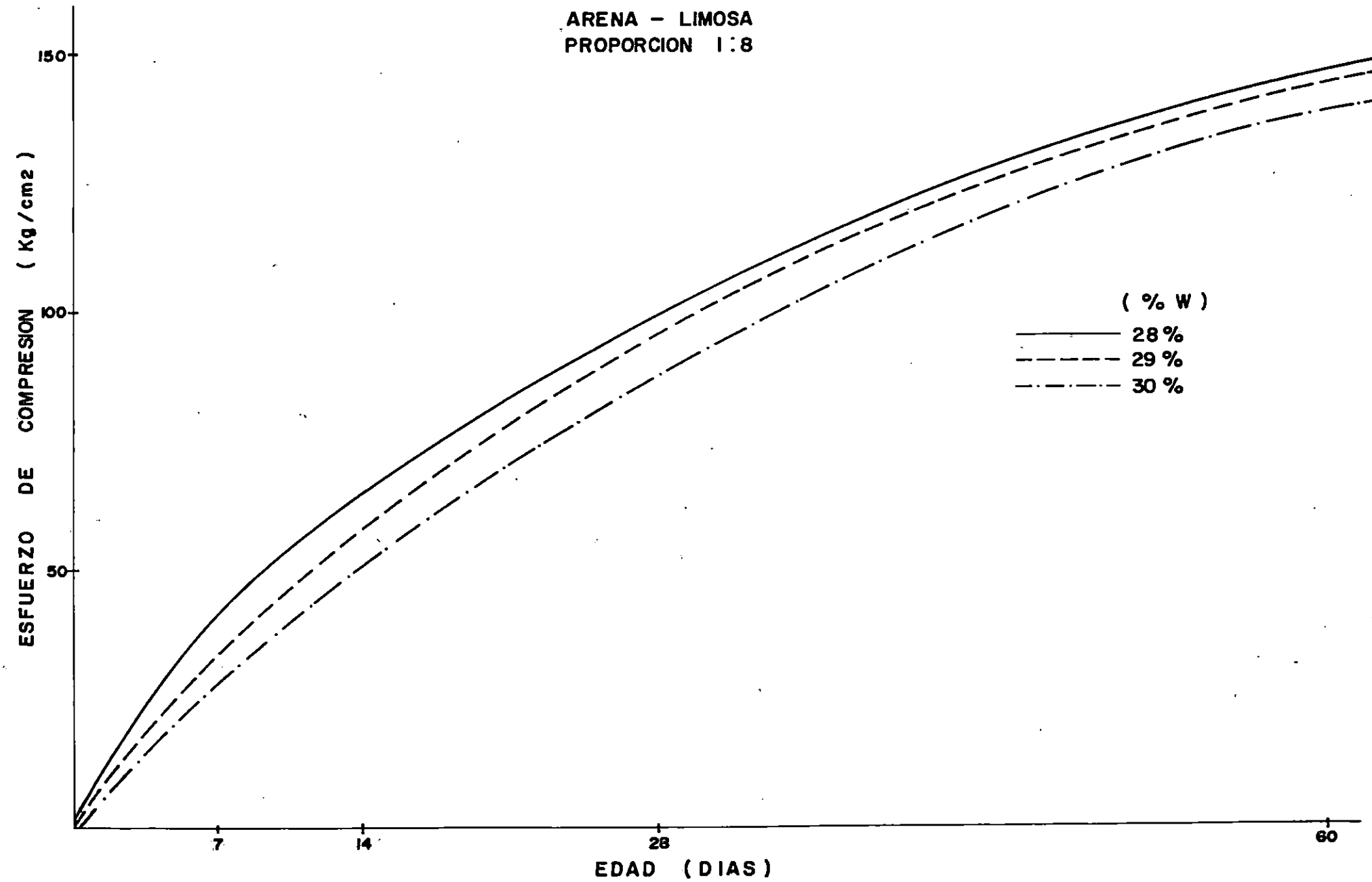
Los resultados de ensayos de compresión de cilindros elaborados con diferentes dosificaciones y humedades para cada uno de los materiales se muestran en los siguientes cuadros y gráficos:

CUADRO Nº3.4  
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO  
ARENA LIMOSA

1:8												
HUMEDAD (%)	Nº CILINDRO	CARGA (LBS)	AREA (CM²)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM²) EDAD EN DIAS 1 <sup>sc</sup>								REVEN PLG
				7	PROM	14	PROM	28	PROM	60	PROM	
8	11	17000	176.7	44	42.0							3
	12	16500	186.3	40								
	13	25000	188.7			60	62.0					
	14	26500	188.7			64						
	15	39000	181.5					97	99			
	16	42000	188.7					101				
	17	59000	183.9							146	147	
	19	59000	181.5							148		
29	21	14500	191.1	34	34.5							3 1/4
	22	14000	181.5	35								
	23	22500	179.1			57	55.5					
	24	21500	179.1			54						
	25	40000	186.3					97	96			
	26	38000	181.5					95				
	27	60000	188.7							144	144	
	29	58500	183.9							144		
30	1	12500	181.5	31	29.5							5
	2	11000	181.5	28								
	3	21000	191.1			50	50.0					
	4	21000	191.1			50						
	5	34000	181.5					85	88			
	6	37000	183.9					91				
	7	56500	181.5							141	139	
	8	57000	188.7							137		

# RESISTENCIA A LA COMPRESION

ARENA - LIMOSA  
PROPORCION 1:8



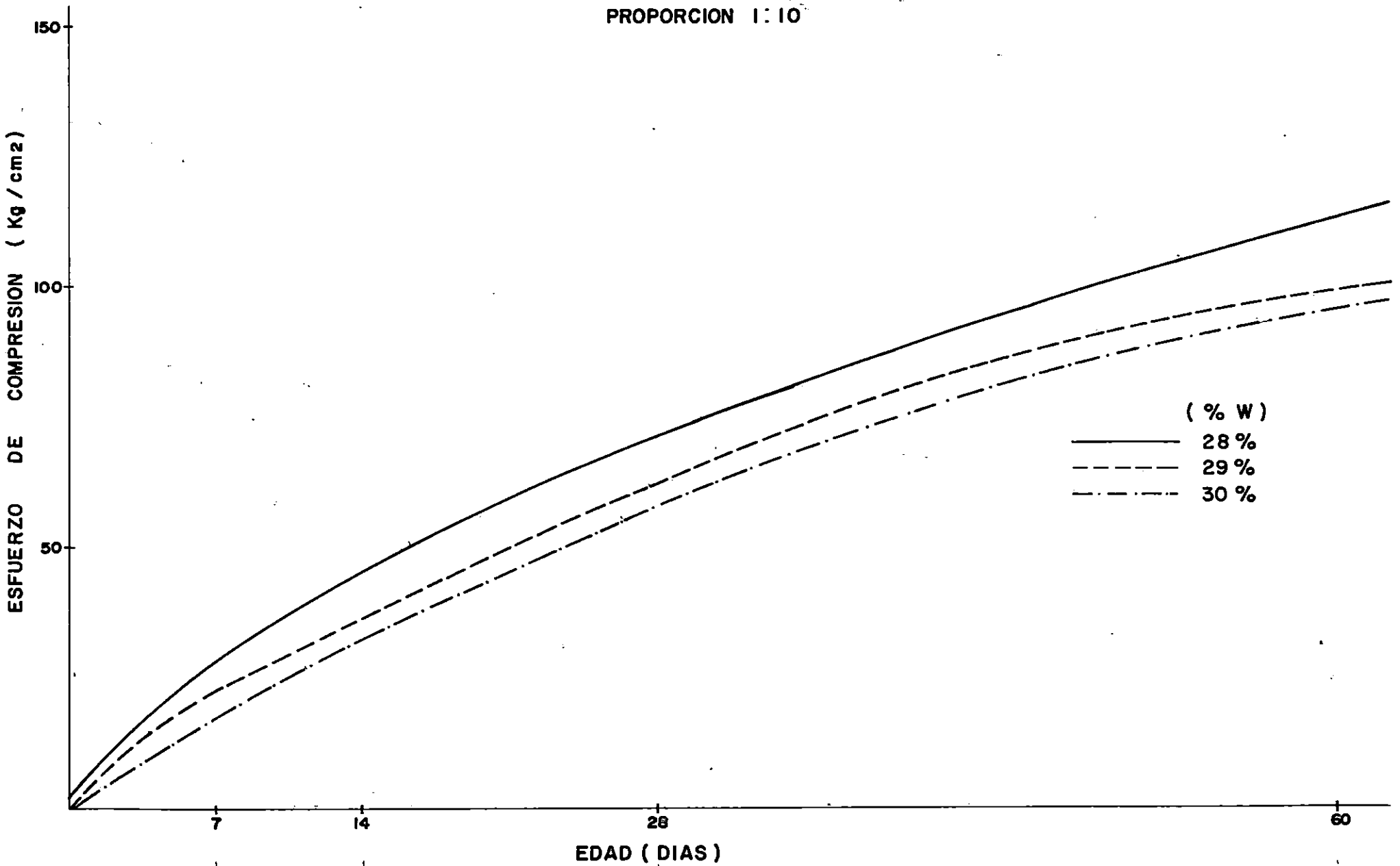
CUADRO Nº3.5  
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO  
ARENA LIMOSA

1:10												
HUMEDAD (%)	Nº CILINDRO	CARGA (LBS)	AREA (CM²)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM²) EDAD EN DIAS I <sup>sc</sup>								REVEN PLG
				7	PROM	14	PROM	28	PROM	60	PROM	
28	131	11500	181.5	29	28.5							3 3/4
	132	11000	181.5	28								
	133	17500	181.5			44	43					
	134	16500	181.5			42						
	135	30500	183.9					75	71.5			
	136	28000	186.3					68				
	137	46000	183.9							113	113	
29	141	9000	181.5	23	23							4 1/2
	142	9500	191.1	23								
	143	13500	181.5			34	35					
	144	14000	176.7			36						
	145	23000	181.5					57	60			
	146	26000	188.9					63				
	147	39500	181.5							99	99	
30	151	8500	181.5	21	21							6 1/2
	152	8500	183.9	21								
	153	14000	191.1			33	31.5					
	154	12000	181.5			30						
	155	23000	183.9					57	57			
	156	23500	186.3					57				
	157	38000	181.5							95	94.5	
	158	39500	191.1							94		



# RESISTENCIA A LA COMPRESION

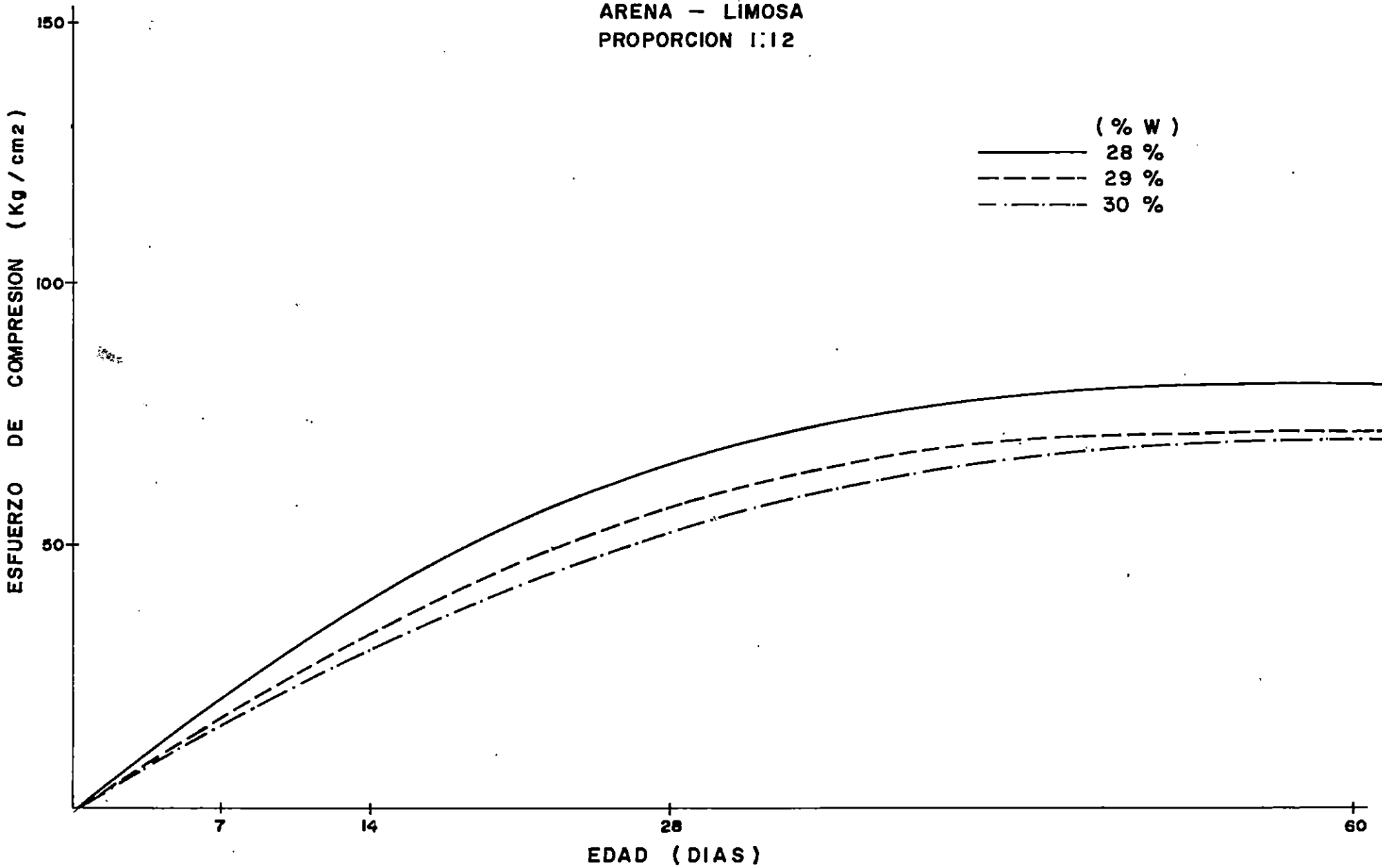
ARENA - LIMOSA  
PROPORCION 1:10





# RESISTENCIA A LA COMPRESION

ARENA - LIMOSA  
PROPORCION 1:12



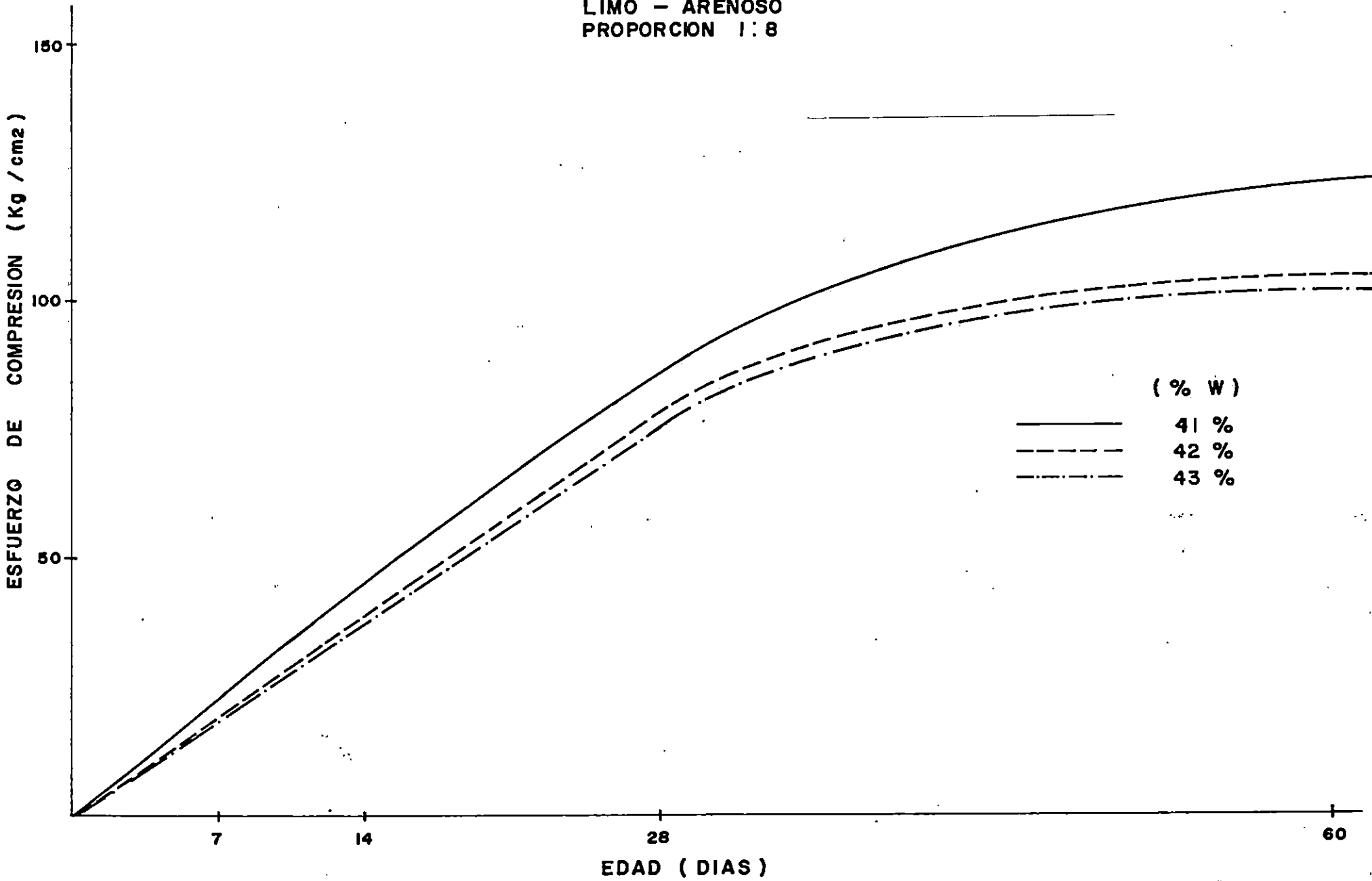


CUADRO Nº3.8  
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO  
LIMO ARENOSO

1:8												
HUMEDAD (%)	Nº CILINDRO	CARGA (LBS)	AREA (CM²)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM²) EDAD EN DIAS f'sc								REVEN PLG
				7	PROM	14	PROM	28	PROM	60	PROM	
41	31	9000	188.7	22	22.0							3 3/4
	32	9000	188.7	22								
	33	17000	179.1			43	46.0					
	34	20000	186.3			49						
	35	35000	181.5					88	88			
	36	35500	183.9					88				
	37	48000	181.5							120	122	
	38	51500	188.7							124		
42	51	7000	181.5	18	17.5							5
	52	7000	183.9	17								
	53	15500	176.7			40	38.5					
	54	16500	179.1			37						
	55	34000	191.1					81	80.5			
	56	32500	183.9					80				
	57	40500	179.1							103.5	104	
	58	44000	191.1							105		
43	41	6500	188.9	16	16.5							5 3/4
	42	6500	179.1	17								
	43	15000	186.3			37	35.5					
	44	13500	181.5			34						
	45	32500	186.3					79	79			
	46	30500	176.7					79				
	47	42500	191.1							101	101.5	
	48	41000	181.5							102		

# RESISTENCIA A LA COMPRESION

LIMO - ARENOSO  
PROPORCION 1:8



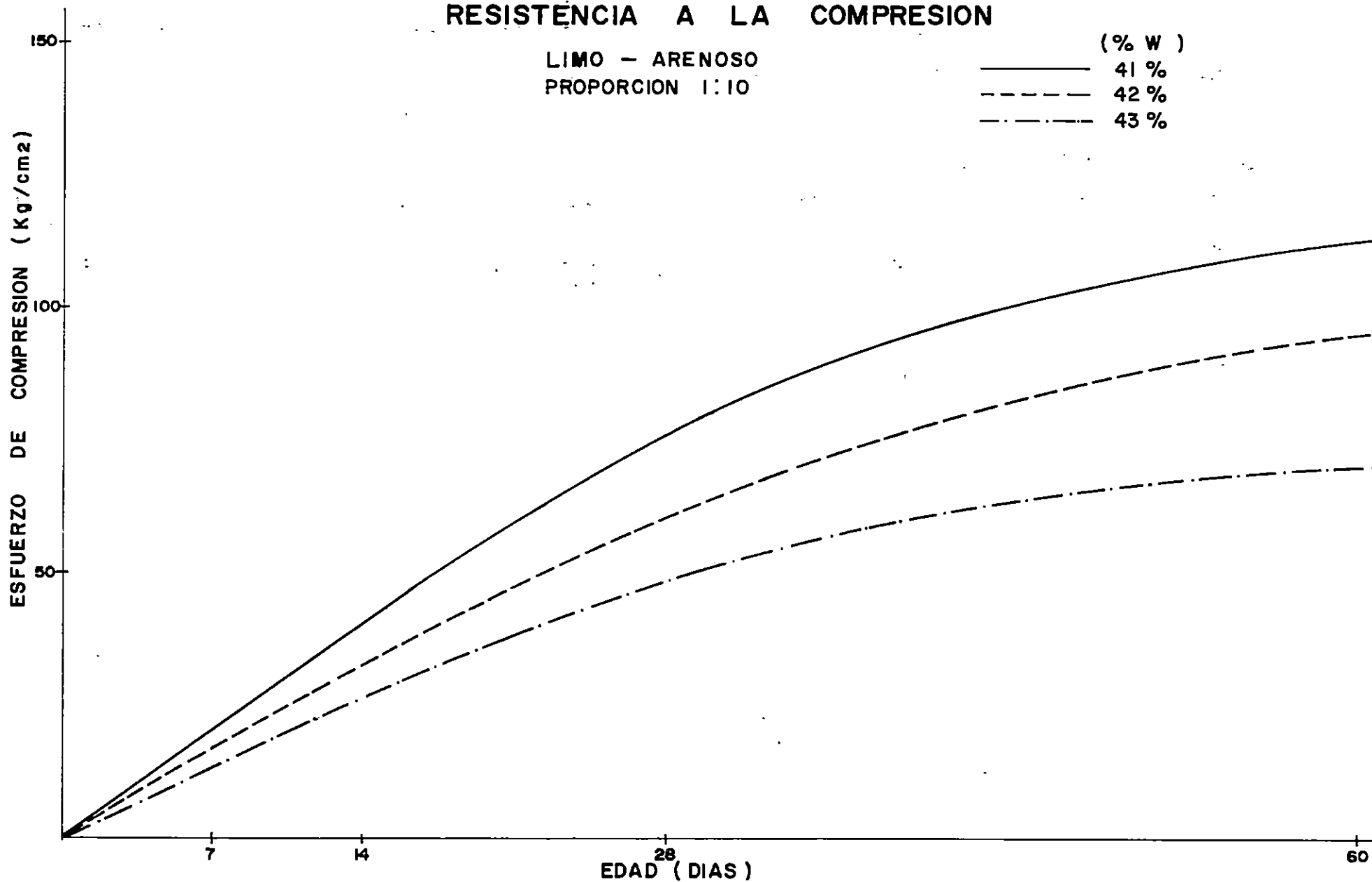


# RESISTENCIA A LA COMPRESION

LIMO - ARENOSO  
PROPORCION 1:10

(% W )

- 41 %
- - - 42 %
- · - 43 %



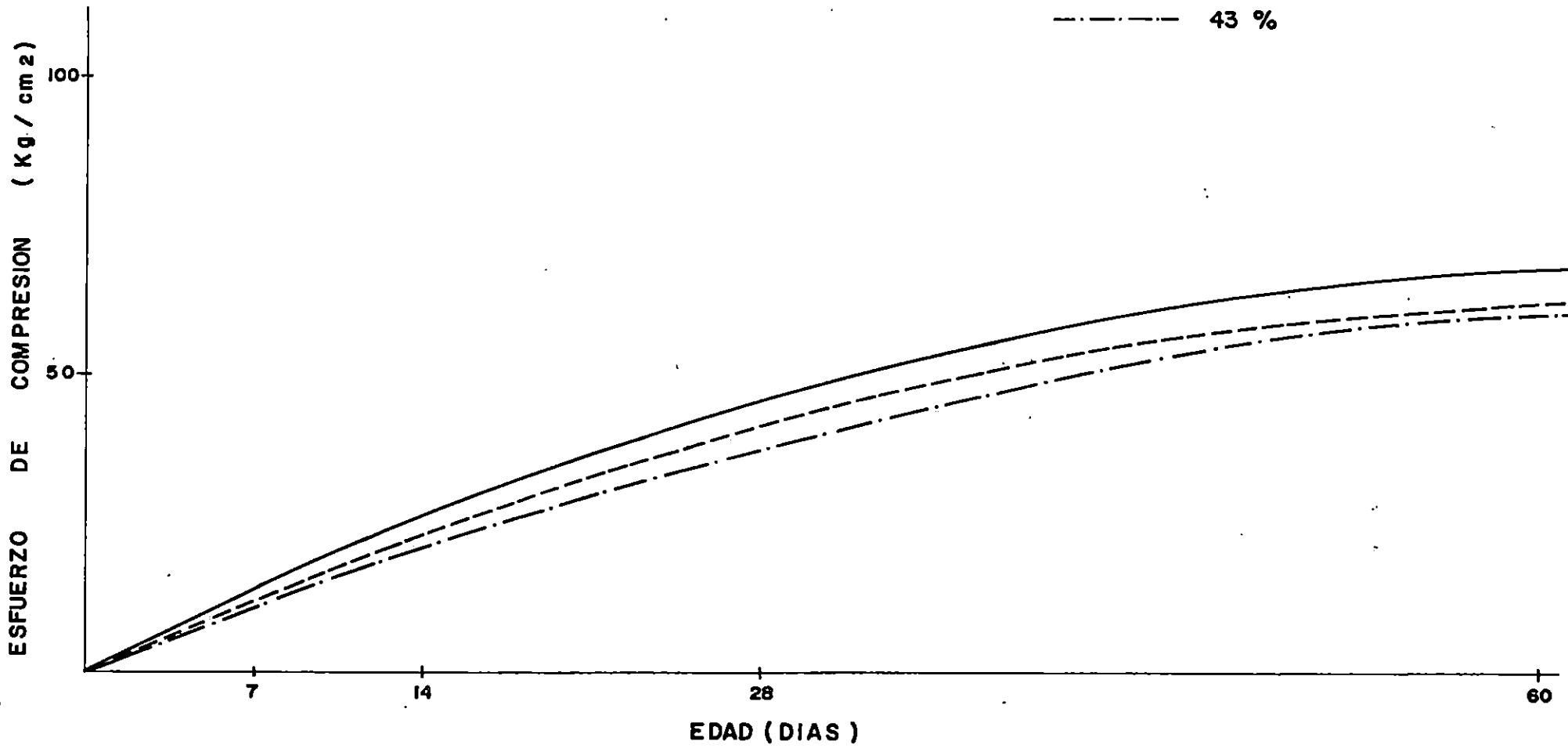




# RESISTENCIA A LA COMPRESION

LIMO - ARENOSO  
PROPORCION 1:12

(% W)  
——— 41 %  
- - - - 42 %  
- · - · - 43 %





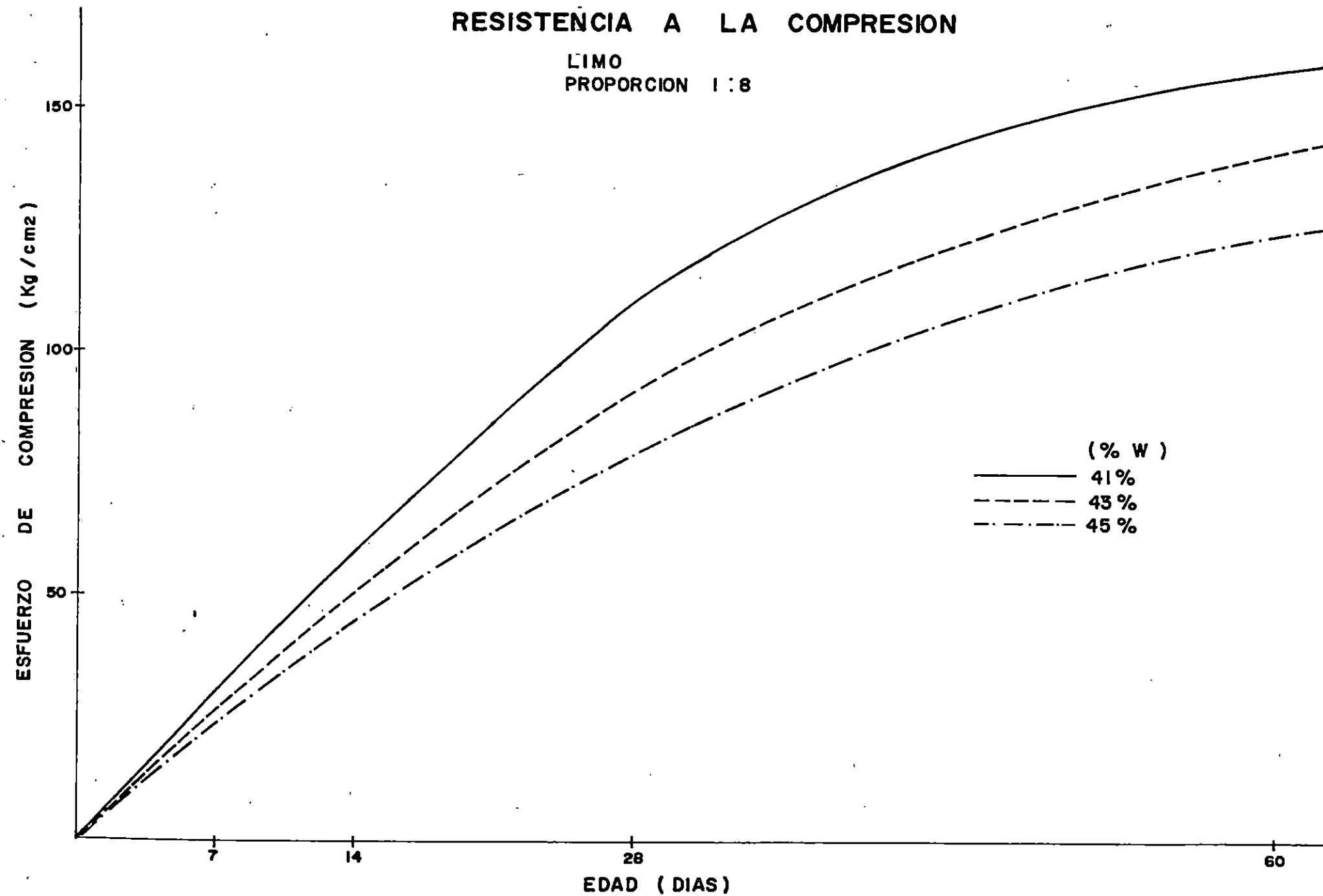
CUADRO Nº3.12  
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO

LIMO

1:8												
HUMEDAD (%)	Nº CILINDRO	CARGA (LBS)	AREA (CM <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM <sup>2</sup> ) EDAD EN DIAS f' <sub>sc</sub>								REVEN PLG
				7	PROM	14	PROM	28	PROM	60	PROM	
41	71	12000	181.5	30	30.5							3 1/4
	72	12500	181.5	31								
	73	25000	188.7			60	59.0					
	74	23000	179.1			58						
	75	44500	179.1					113	111.5			
	76	46500	191.1					110				
	77	62000	179.1							157	157	
	78	61000	176.7							157		
43	61	10000	179.1	25	26.0							4
	62	10500	181.5	27								
	63	20000	181.5			50	50.0					
	64	21000	191.1			50						
	65	37500	183.9					93	92.0			
	66	36500	181.5					91				
	67	56000	181.5							140	140.5	
	68	57000	183.9							141		
45	81	9000	191.5	23	22.5							8
	82	8500	179.1	22								
	83	17500	179.1			45	44					
	84	17000	181.5			43						
	85	32000	181.5					80	79.5			
	86	31500	181.5					79				
	87	49500	181.5							124	124.5	
	88	48500	176.7							125		

# RESISTENCIA A LA COMPRESION

LIMO  
PROPORCION 1:8



CUADRO N<sup>o</sup>3.13  
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO

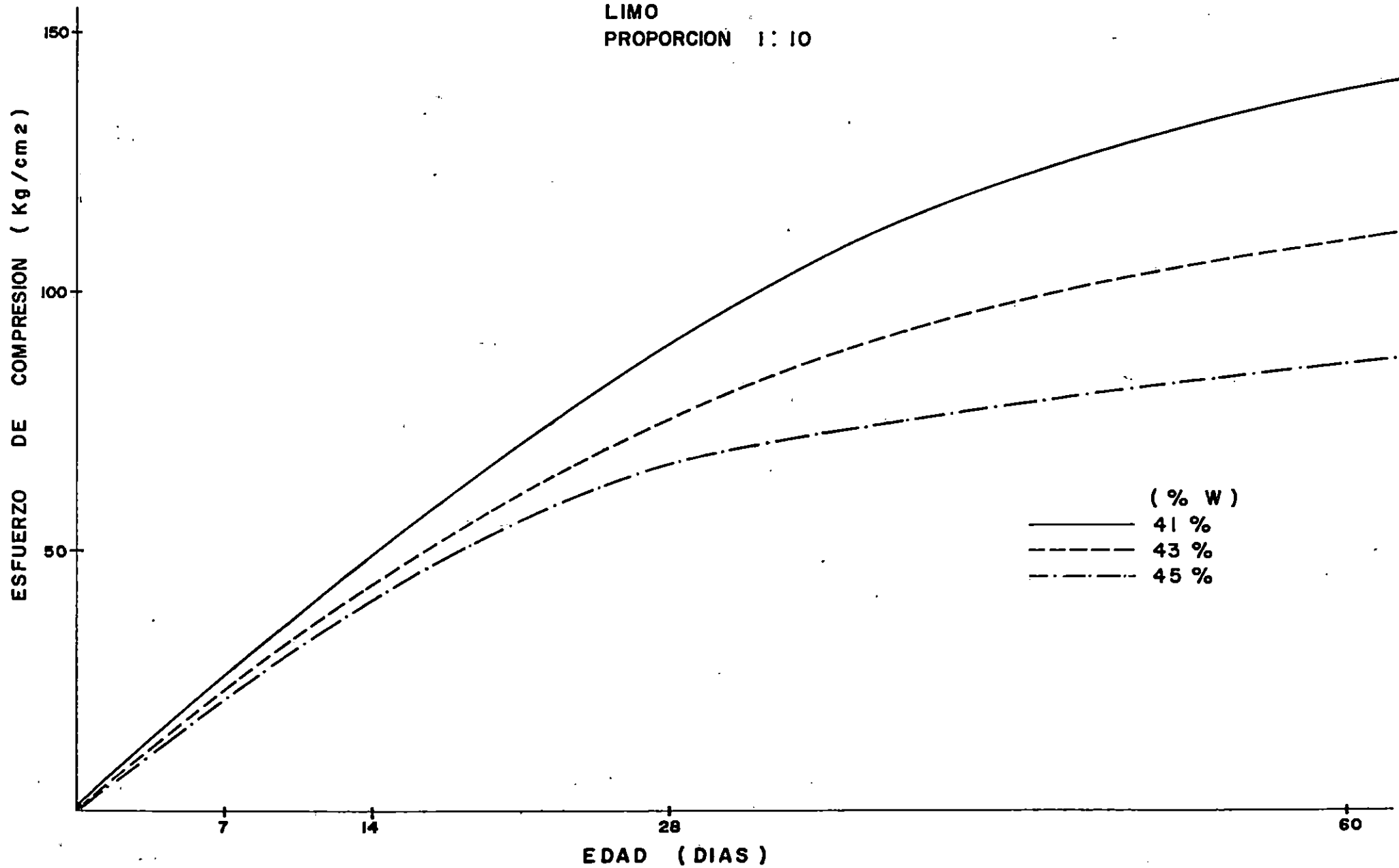
LIMO

1:10

HUMEDAD (%)	N <sup>o</sup> CILINDRO	CARGA (LBS)	AREA (CM <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM <sup>2</sup> ) EDAD EN DIAS f <sup>'</sup> sc								REVEN PLC
				7	PROM	14	PROM	28	PROM	60	PROM	
41	91	9500	176.7	24	25.0							3 1/4
	92	10500	181.5	26								
	93	19000	181.5			48	48.5					
	94	20000	183.9			49						
	95	38000	181.5					95	89.0			
	96	33000	181.5					83				
	97	54000	176.7							138	138.5	
	98	58500	191.1							139		
43	101	9000	181.5	23	26.0							4 1/2
	102	10000	181.5	25								
	103	17500	179.1			45	42					
	104	16000	188.7			39						
	105	29500	181.5					74	75.0			
	106	31000	183.9					76				
	107	43000	181.5							107	109.5	
	108	44000	179.1							112		
45	161	7500	183.9	19	20.5							7
	162	8500	179.1	22								
	163	16000	181.5			40	40					
	164	15500	176.7			40						
	165	26500	181.5					66	67			
	166	27000	181.5					68				
	167	34500	181.5							86	86	
	168	34500	181.5							86		

# RESISTENCIA A LA COMPRESION

LIMO  
PROPORCION 1 : 10

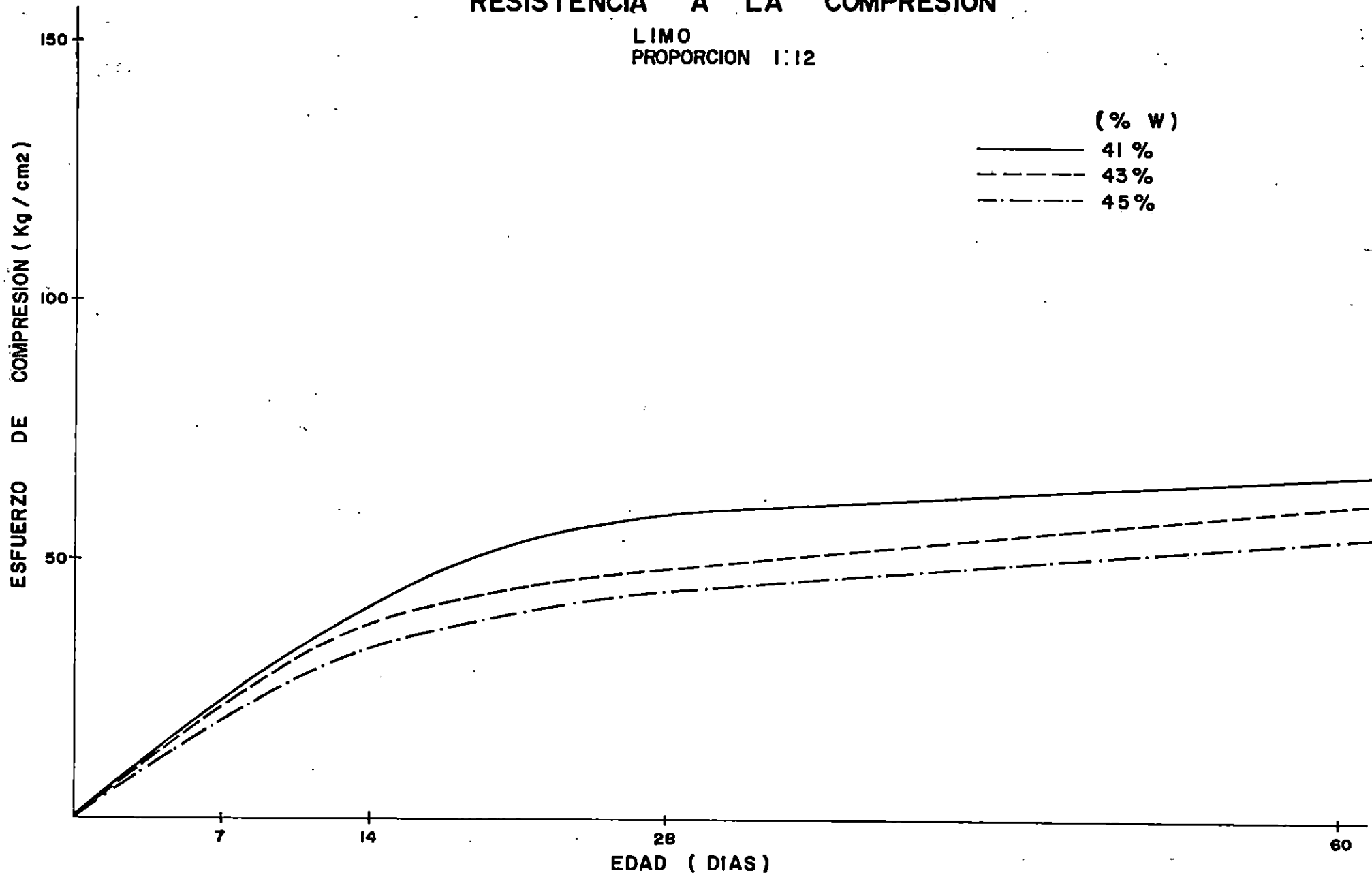






# RESISTENCIA A LA COMPRESION

LIMO  
PROPORCION 1:12



**CUADRO Nº 3.15**  
**RESISTENCIA A LA COMPRESION DE SUELO SEMIFLUIDO**  
**LIMO**

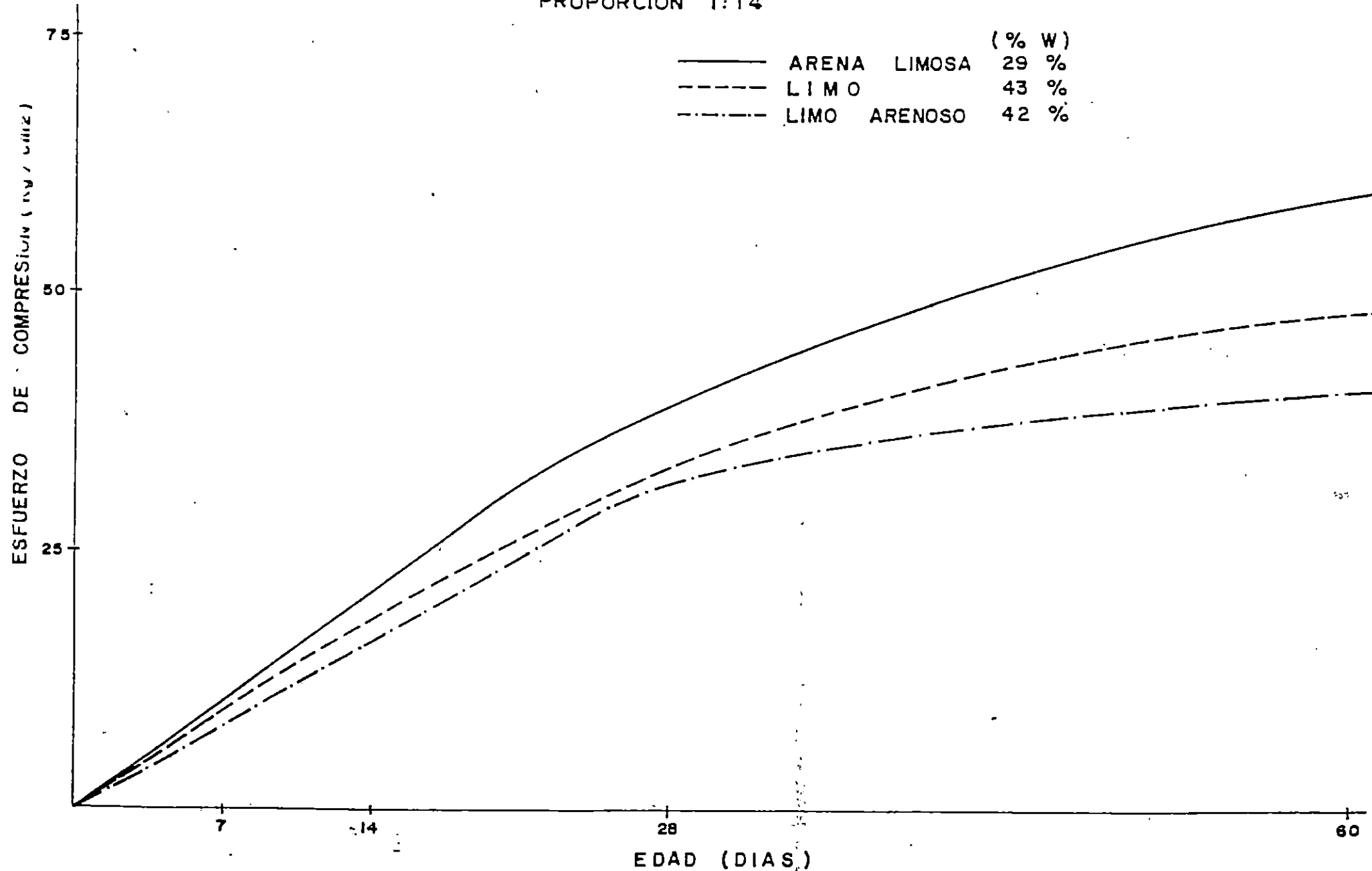
1:14												
HUMEDAD (%)	Nº CILINDRO	CARGA (LBS)	AREA (CMS <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM <sup>2</sup> ) EDAD EN DIAS t <sup>sc</sup>								REVEN PLG
				7	PROM	14	PROM	28	PROM	60	PROM	
43	291	3000	176.7	8	8.5							4 3/4
	292	3500	181.5	9								
	293	7000	181.5			18	18.5					
	294	7500	181.5			19						
	295	12500	183.9					31	33			
	296	19500	183.9					35				
	299	19500	183.9							48	47.5	
	300	18500	179.1							47		

# RESISTENCIA A LA COMPRESION

ARENA LIMOSA - LIMO ARENOSO - LIMO

PROPORCION 1:14

	(% W)
— ARENA LIMOSA	29 %
- - - LIMO	43 %
- · - LIMO ARENOSO	42 %



**ENSAYO DE TENSION (PRUEBA BRASILEÑA)**

La prueba brasileña es fácil de efectuar y produce resultados más uniformes que otras pruebas de tensión. La resistencia determinada en la prueba brasileña es, según se cree más apegada a la verdadera resistencia a la tensión del concreto que el módulo de ruptura; la resistencia a la tensión por separación longitudinal es del 5 al 12 por ciento más alta que la resistencia a la tensión directa. Otra de las ventajas de la prueba brasileña consiste en que se puede usar el mismo tipo de muestra para las pruebas de compresión y tensión<sup>12</sup>/.

Continuando con la serie de pruebas preliminares establecidas, se presenta a continuación, los cuadros con los resultados de los ensayos a la tensión de cilindros de suelo cemento semifluido, realizados a la edad de 28 días para cada tipo de suelo y para las proporciones 1:10 y 1:12.

---

<sup>12</sup>/ Tecnología del Concreto, Tomo II, A. M. Neville, IMCYC, La Impresora Azteca, Pág. 200.

RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO A LOS 28 DIAS  
 PROPORCION 1:10

CUADRO Nº 3.16

ARENA LIMOSA							
HUMEDAD %	Nº CILINDRO	DIAMETRO (CMS)	ALTURA (CMS)	CARGA (LBS)	RESISTENCIA A LA TENSION (KG/CM <sup>2</sup> )	PROMEDIO	% QUE REPRESENTA DE LA COMPRESION
28	139	15.2	30.3	19500	12.2	12	16.8
	140	15.4	30.1	19000	11.8		
29	149	15.0	30.4	17000	10.8	10.65	17.8
	150	15.0	30.3	16500	10.5		
30	159	15.5	30.3	15500	9.5	9.65	16.9
	160	15.1	30.3	15500	9.8		

CUADRO Nº 3.17

LIMO ARENOSO							
HUMEDAD %	Nº CILINDRO	DIAMETRO (CMS)	ALTURA (CMS)	CARGA (LBS)	RESISTENCIA A LA TENSION (KG/CM <sup>2</sup> )	PROMEDIO	% QUE REPRESENTA DE LA COMPRESION
41	119	15.3	30.3	15500	9.7	9.9	12.9
	120	15.2	30.2	16000	10.1		
42	129	15.1	30.4	13500	8.5	8.3	13.9
	130	15.2	30.4	13000	8.1		
43	179	15.2	30.4	11500	7.2	7.1	14.6
	180	15.1	30.3	11000	0.0		

CUADRO Nº 3.18

LIMO							
HUMEDAD %	Nº CILINDRO	DIAMETRO (CMS)	ALTURA (CMS)	CARGA (LBS)	RESISTENCIA A LA TENSION (KG/CM <sup>2</sup> )	PROMEDIO	% QUE REPRESENTA DE LA COMPRESION
41	99	15.1	30.3	16500	10.4	10.5	11.8
	100	15.1	30.5	17000	10.6		
43	109	15.2	30.4	15500	9.7	9.55	12.7
	110	15.2	30.4	15000	9.4		
45	169	15.1	30.3	13000	8.2	8.2	9.4
	170	15.2	30.2	13000	8.2		

91

**RESISTENCIA A LA TENSION DE CILINDROS DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO A LOS 28 DIAS  
PROPORCION 1:12**

**CUADRO Nº 3.19**

ARENA LIMOSA							
HUMEDAD %	Nº CILINDRO	DIAMETRO (CMS)	ALTURA (CMS)	CARGA (LBS)	RESISTENCIA A LA TENSION (KG/CM²)	PROMEDIO	% QUE REPRESENTA DE LA COMPRESION
28	209	15.4	30.6	17500	10.72	10.9	16.5
	210	15.3	30.4	18000	11.17		
29	219	15.4	30.6	15000	9.2	9.4	16.5
	220	15.4	30.3	15500	9.6		
30	269	15.2	30.6	14000	8.7	8.6	16.4
	270	15.3	30.2	13500	8.4		

**CUADRO Nº 3.20**

LIMO ARENOSO							
HUMEDAD %	Nº CILINDRO	DIAMETRO (CMS)	ALTURA (CMS)	CARGA (LBS)	RESISTENCIA A LA TENSION (KG/CM²)	PROMEDIO	% QUE REPRESENTA DE LA COMPRESION
41	229	15.1	30.4	13000	8.2	8.3	18.4
	230	15.2	30.6	13500	8.4		
42	199	15.4	30.6	11500	7.1	7.0	17.5
	200	15.2	30.4	11000	6.9		
43	189	15.5	30.2	9500	5.9	5.9	15.9
	190	15.2	30.4	9500	5.9		

**CUADRO Nº 3.21**

LIMO							
HUMEDAD %	Nº CILINDRO	DIAMETRO (CMS)	ALTURA (CMS)	CARGA (LBS)	RESISTENCIA A LA TENSION (KG/CM²)	PROMEDIO	% QUE REPRESENTA DE LA COMPRESION
41	239	15.2	30.4	15000	9.4	9.6	16.3
	240	15.2	30.4	15500	9.7		
43	249	15.2	30.4	12500	7.8	8.1	16.7
	250	15.1	30.4	13500	8.5		
45	259	15.2	30.2	11500	7.2	7.1	16.0
	260	15.3	30.3	11000	6.9		

### 3.2 ANALISIS DE RESULTADOS

- Los suelos utilizados para estas pruebas variaron desde una arena limosa con un contenido de arena del 70%, un limo arenoso con un contenido de arena de 47%, hasta un limo con un contenido de arena de 26%, con el objeto de cubrir todo el espectro granulométrico y así conocer su comportamiento en la elaboración de suelo cemento semifluido.
  
- Para medir la consistencia de las mezclas se optó por el cono de revenimiento, ya que este además de tener la ventaja de la sencillez del procedimiento y equipo, proporciona una adecuada eficiencia en diferenciar leves variaciones en el contenido de humedad de la mezcla fresca. La Bola de Kelly y la Mesa de Fluides para mortero, no son capaces de medir la variación en la consistencia del suelo cemento semifluido con la precisión que este estudio requiere.
  
- Para realizar la revoltura, después de diversas pruebas, se optó por mezclar inicialmente agua y cemento y posteriormente añadir el suelo, dando un período de mezclado adicional de 5 minutos, lo que

garantiza la uniformidad de la mezcla, ya que al mezclar inicialmente el suelo y el cemento y luego añadir el agua, se forman grumos de cemento y suelo en los cuales el agua no penetra.

- Cuando se realizan mezclas con los contenidos de humedad menores para cada material, se presenta el fenómeno que durante el proceso de revoltura, se obtiene una trabajabilidad adecuada, pero debido al tiempo de colocación, la mezcla tiende a endurecerse por la absorción del agua por parte de las partículas de suelo, lo que obliga a realizar la revoltura y colado en un período de tiempo demasiado corto, para ser práctico fuera del laboratorio.

- Al realizar las mezclas con los diferentes contenidos de humedad, se observó que las menores humedades que permiten un tiempo de colocación comprendido entre 10 y 15 minutos son, 29% para la arena limosa, 42% para el limo arenoso y 43% para limo.

- De los gráficos para la arena limosa y limo arenoso, se puede observar que el incremento del 1% de



la humedad en la mezcla, no produce mayor variación en la resistencia, notándose variaciones considerables en la trabajabilidad.

A manera de conocer el incremento de la resistencia a la compresión, comprendida entre los 28 y 60 días de los tres materiales, para las proporciones 1:8, 1:10 y 1:12, se presenta a continuación un cuadro comparativo entre los aspectos antes mencionados.

**CUADRO 3.22**  
**CUADRO COMPARATIVO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION**  
**A LOS 28 Y 60 DIAS**

MATERIAL	RESITENCIA A LA COMPRESION (KG/CM <sup>2</sup> )					
	PROPORCION 1:8		PROPORCION 1:10		PROPORCION 1:12	
	28 DIAS	60 DIAS	28 DIAS	60 DIAS	28 DIAS	60 DIAS
ARENA LIMOSA	96	144	60	99	57	72
	1.5 *		1.65 *		1.26 *	
LINO ARENOSO	80.5	104	59.5	95	40	62
	1.29 *		1.6 *		1.55 *	
LINO	92	140.5	75	109.5	49	61
	1.53 *		1.46 *		1.24 *	

\* % DE INCREMENTO DE RESISTENCIA DE 28 A 60 DIAS.

- Del cuadro anterior de la resistencia a la compresión correspondientes a arenas limosas y limos, se concluye que se produce un incremento de resistencia de 28 a 60 días, comprendido entre el 40 y 60% de la resistencia a los 28 días para las proporciones 1:8 y 1:10. Observándose al mismo tiempo que en la proporción 1:12, únicamente se produce un incremento comprendido entre el 20 y 30%. Respecto al limo arenoso no se observa un comportamiento lógico, por tal razón no se puede concluir respecto a este material.

- De acuerdo a los porcentajes de cemento, establecidos en los cuadros contemplados en la pag. 53, y resultados de resistencia a la compresión obtenidos para los diferentes materiales, se concluye que la arena limosa alcanza mayores resistencias con porcentajes menores de cemento, esto se debe a que requiere menor porcentaje de agua para mantener igual grado de trabajabilidad que los otros materiales por tener menor superficie específica.

- De los gráficos correspondientes al limo, págs. 82, 84 y 86, para las diferentes proporciones

estudiadas, se observa un cambio notable de resistencia de la proporción 1:12 a la 1:10, esto se debe al hecho que en la proporción 1:12 la cal libre hidratada del cemento no es suficiente para reaccionar con la puzolana que contiene el suelo, en cambio en la proporción 1:10 la cal libre hidratada del cemento reacciona prácticamente con la puzolana del suelo, por tal razón en la proporción 1:8 el incremento de resistencia respecto a la 1:10 no es muy notable.

- En los gráficos elaborados de resistencia a la compresión contra edad de curado, para la proporción 1:10, se observa que la resistencia a la compresión de el limo es mayor que de la arena limosa; para la proporción 1:12, la resistencia a la compresión de la arena limosa es mayor que el limo, y para la proporción 1:14, se observa el mismo comportamiento de la proporción 1:12 para los tres materiales. De lo anterior se deduce que, conforme disminuye el porcentaje de cemento, el efecto de la puzolana también se reduce, la razón de este efecto se puede atribuir a que la cantidad de cal libre del cemento no es suficiente para reaccionar con la puzolana del suelo y adquirir propiedades cementantes.

- Para los tres materiales y las diferentes proporciones estudiadas en esta serie de pruebas preliminares, se elaboraron gráficos de resistencia a la compresión contra edad de curado, pudiéndose observar en todos los gráficos, que la resistencia a la compresión del limo arenoso es menor respecto a las de los otros materiales, y esto se debe a que el limo arenoso tiene mayor área específica que la arena limosa, por lo que representa la desventaja de requerir mayor cantidad de agua para mantener igual grado de trabajabilidad; y respecto al limo, la desventaja es por tener menor cantidad de puzolana.

CAPITULO IV  
"PRUEBAS FINALES"

Después de realizadas las pruebas preliminares contempladas en el capítulo III, y obtenidos los resultados del comportamiento y propiedades mecánicas de las mezclas, tanto en estado fresco como endurecido, y en función de las variaciones de las proporciones y contenidos de humedad, se ha determinado la proporción y el porcentaje de agua que será considerado como óptimo en cada mezcla, para la elaboración de las muestras que se utilizaran en esta serie de pruebas finales.

Los procesos de elaboración, vibrado y curado de los elementos, así como el método de controlar la trabajabilidad de las mezclas serán los mismos que se usaron en el capítulo III.

De esta manera se procedió a elaborar tres mezclas de cada tipo de material, para con ellas hacer los especímenes a fin de obtener los valores de las propiedades mecánicas investigadas en este estudio.

#### 4.1 PROGRAMA DE PRUEBAS FINALES

##### 4.1.1 ELABORACIÓN DE MEZCLAS

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas preliminares, y en la búsqueda de la dosificación más económica, pero que presente propiedades mecánicas adecuadas, se descarto la proporción 1:14 por sus bajos resultados en las pruebas de compresión y tensión preliminares y se opto por trabajar la proporción 1:12 (cemento-suelo).

En esta segunda serie de pruebas se investigaron las siguientes propiedades:

- a) Resistencia a la compresión
- b) Resistencia a la tensión
- c) Resistencia al cortante
- d) Adherencia
- e) Absorción
- f) Peso volumétrico seco.

Al igual que en las pruebas preliminares (ver págs. 59 y 60), las dosificaciones de las mezclas se harán en base a

peso, transformando la dosificación en volumen, mediante los pesos volumétricos sueltos de los materiales constituyentes.

CUADRO Nº 4.1

## COMPOSICION DE LA MEZCLA EN PORCENTAJE

PROPORCION 1:12						
MATERIAL	CILINDROS	HUMEDAD %	% SUELO	% AGUA	% CEMENTO	RELACION A/C
ARENA-LIMOSA	1-10	29	70.62	20.48	8.90	2.30
LIMO-ARENOSO	11-20	42	64.12	26.92	8.97	3.00
LIMO	21-30	43	62.66	26.94	10.40	2.59

## 4.1.2 ELEMENTOS DE PRUEBA

Una vez establecida la proporción en peso de las mezclas a utilizar para la elaboración de los elementos, se procedió a colar por cada una de ellas:

- a) 10 cilindros
- b) 2 vigas
- c) 3 Prismas

**a) CILINDROS**

Se elaboraron diez cilindros, disponiendo seis para ser probados por pareja, a la prueba de compresión a las edades de 7, 14 y 28 días, dos para ensayo de tensión, mediante la prueba brasileña a los 28 días, uno para la determinación de absorción y uno para obtener el peso volumétrico seco.

**CONDICIONES GENERALES DE ELABORACION DE CILINDROS**

1. La mezcla se elaboro en una mezcladora de eje horizontal.
2. Se coló la mezcla en cilindros metálicos con dimensiones:  
    Altura: 12 plg.  
    Diámetro: 6 plg.
3. Cada cilindro se coló en dos capas, vibrando cada capa durante un tiempo comprendido entre los 3 y 5 segundos, con un vibrador de vástago de 7/8 de pulgada.
4. Los cilindros se desmoldaron a las 72 horas después de su elaboración.
5. El curado se realizo sumergiéndolos en agua durante el tiempo requerido para cada una de las pruebas.



**b) VIGAS**

Se colaron dos vigas de 15X15X60 cm. de cada material, las cuales fueron aserradas a los 28 días de curado, para obtener prismas que se sometieron al ensayo de cortante.

**CONDICIONES GENERALES DE ELABORACION DE VIGAS**

1. Las mezclas se elaboraron en una mezcladora de eje horizontal.
2. Se coló la mezcla en moldes metálicos de 15X15X60 cm.
3. Cada viga se coló en una sola capa, vibrándola durante un tiempo comprendido entre 8 y 10 segundos, con un vibrador de vástago de 7/8 pulg., insertando el vástago a cada 15 cm. a lo largo de la viga (ver fotografía 4.1).
4. Se desmoldaron a las 72 horas después de su elaboración, con el propósito de no dañar las aristas y la superficie de los elementos.
5. El curado se realizó sumergiéndolas en agua inmediatamente después de desenmoldarlo, durante 25 días adicionales para completar los 28 días de curado.



Fotografía 4.1 Elaboración de vigas.

c) **PRISMAS**

Se colaron tres prismas por cada mezcla, dos de ellas en dos partes con un intervalo de 24 horas entre colados, con el objeto de formar una junta fría, y uno en una sola jornada, para ser sometidos al ensayo de adherencia a los 28 días (ver fotografía 4.4).

**CONDICIONES GENERALES DE ELABORACION DE PRISMAS**

1. Las mezclas se elaboraron en la mezcladora de eje horizontal.
2. Los moldes utilizados presentan las dimensiones siguientes:
  - Altura: 16 plg.
  - Ancho: 8 plg.
  - Largo: 16 plg.
3. Los prismas que presentan junta fría se colaron en dos etapas, en la primera se llegó hasta la mitad del molde, compactando el material mediante la aplicación de vibración con un vibrador de 7/8 de plg. durante un tiempo comprendido entre 8 y 10 segundos, el complemento se coló, transcurridas 24 horas, previa escarificación de la capa anterior para asegurar la adherencia entre capas; el tiempo de vibrado fue el mismo que para la primera capa.
4. Los prismas que no poseen junta fría, se colaron en dos capas, en una sola jornada, vibrando cada una durante un tiempo entre 8 y 10 segundos con el vibrador de 7/8 de plg.
5. El curado se llevo a cabo regando los prismas tres veces al día hasta el momento de realizarse su respectiva prueba.

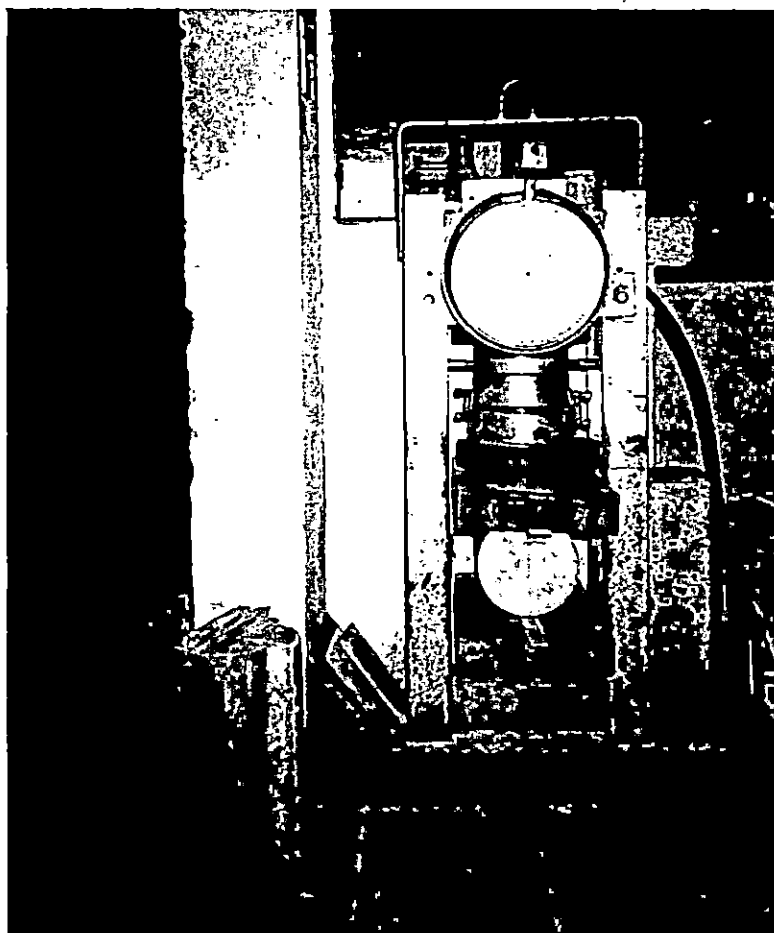
#### 4.1.3 PRUEBAS

##### a) COMPRESION

El ensayo de resistencia a la compresión. se hizo en base a la norma ASTM C39-86 (ver anexo N<sup>o</sup> 1), en 6 especímenes cilíndricos de suelo cemento que se colaron en condición semifluida, de diámetro 6 plg. y altura 12 plg., probándolos con las edades de 7, 14 y 28 días con el objeto de obtener resultados de la resistencia del suelo cemento para diferentes edades y para cada tipo de suelo, y así elaborar una curva de resistencia a la compresión contra edad. Los resultados se contemplan en los cuadros 4.2 al 4.4 pág 110, y su correspondiente gráfico en la página 111.

##### b) TENSION

Las pruebas de tensión por compresión se hicieron de acuerdo a la prueba brasileña ASTM C-496-86 (ver anexo N<sup>o</sup> 2 y fotografía 4.2). Estas se realizaron a los 28 días, tomando un promedio de 2 cilindros de cada tipo de suelo. Los resultados se encuentran en el cuadro N<sup>o</sup> 4.5 pág 111.

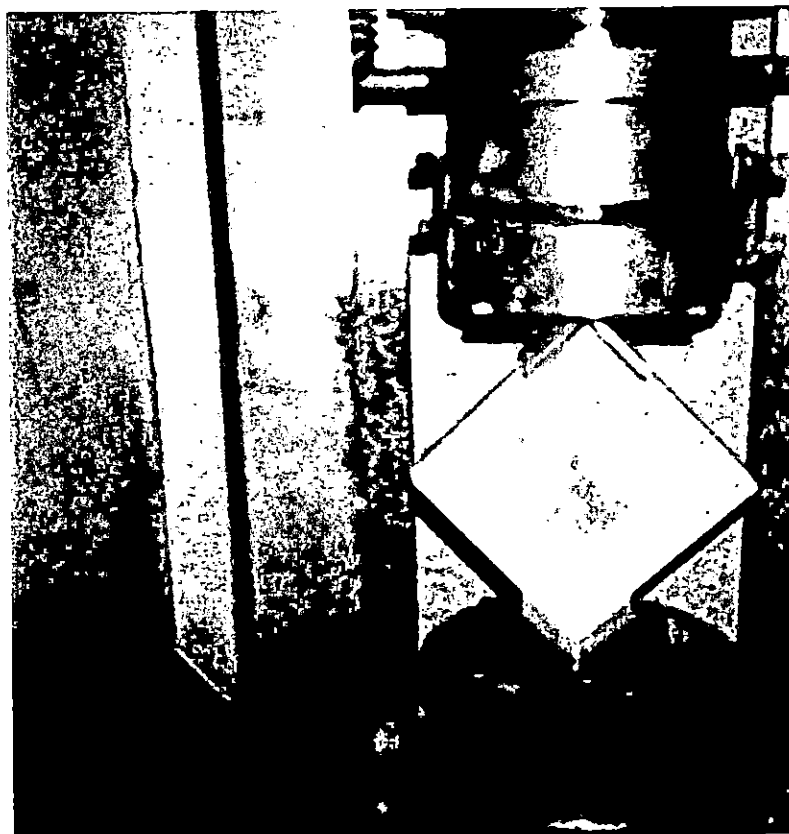


Fotografía 4.2 Prueba de tensión por compresión en elemento cilíndrico.

Como puede observarse en la fotografía anterior la prueba a la tensión (prueba brasileña), consiste en someter un cilindro a compresión lineal diametral, distribuyendo la carga a través de un material relativamente suave, como triplay, corcho o fibrex, en nuestro caso se usó fibrex.

## c) CORTANTE

Se elaboraron 2 vigas de 15x15x60 cm. de cada material, las cuales a los 28 días se aserraron para obtener prismas de 15x15x5 cm., seleccionando 6 de estos para ser sometidos a la prueba de cortante. El ensayo se realizó bajo la norma ASTM E519 (ver anexo N° 3 y fotografía 4.3), Los resultados se presentan en el cuadro 4.6 pág 112.

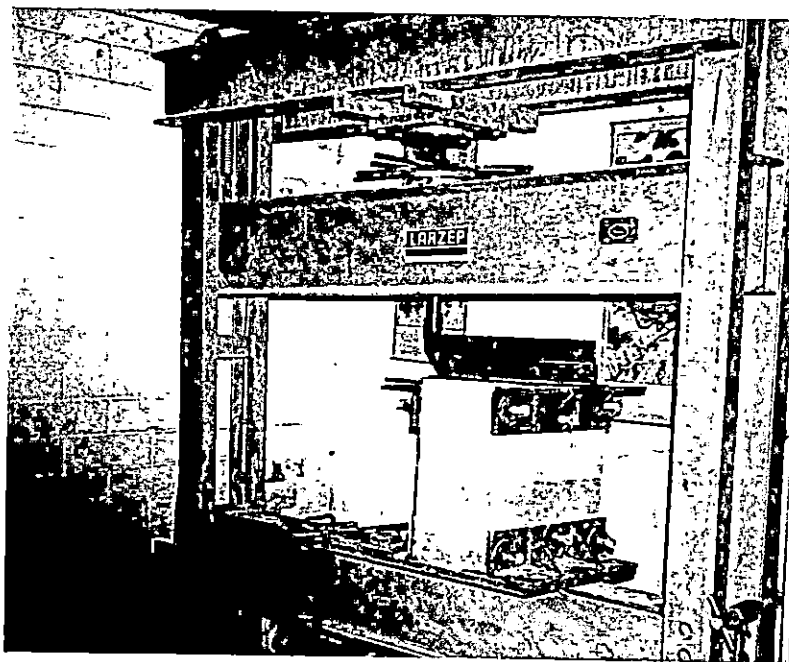


Fotografía 4.3 Prisma sometido al ensayo de cortante

Esta prueba se realiza con el objeto de predecir la resistencia del suelo cemento ante esfuerzos tangenciales, cuando se aplica cargas diagonales.

d) **ADHERENCIA**

Para esta prueba se colaron tres prismas de cada material, dos colados en dos capas formando una junta fría; y uno colado en una sola jornada. El ensayo se realizó a los 28 días según la norma ASTM C-952-76 (ver anexo Nº 4). Los resultados se encuentran en los cuadros 4.7, 4.8 y 4.9 pág. 113.



Fotografía 4.4 Prisma sometido a prueba de adherencia.

La carga es aplicada en un apoyo del brazo metálico que se coloca sobre el prisma (fotografía 4.4), produciendo una excentricidad aproximada de 25 cm. Esta prueba considera un comportamiento del material elasto-plástico ideal, por lo que se basa en la formula:

$$Fadh = \frac{M C}{I} \text{ (fórmula de la escuadrilla)}$$

e) **ABSORCION**

Las pruebas de absorción se elaboraron de acuerdo a la norma ASTM C-90. Estas se realizaron a discos y cubos cortados de cilindros de cada tipo de suelo y dosificación a la edad de 14 y 28 días. Los resultados se muestran en los cuadros 4.10 y 4.11 pág. 114.

f) **PESO VOLUMETRICO SECO**

Los pesos volumétricos secos fueron obtenidos de mitades de cilindros a los 28 días. Ver resultados en cuadro N° 4.12 pág. 114.

A continuación se presenta los cuadros con los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas en esta serie de pruebas finales.



RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO  
1:12

CUADRO 4.2  
ARENA LIMOSA

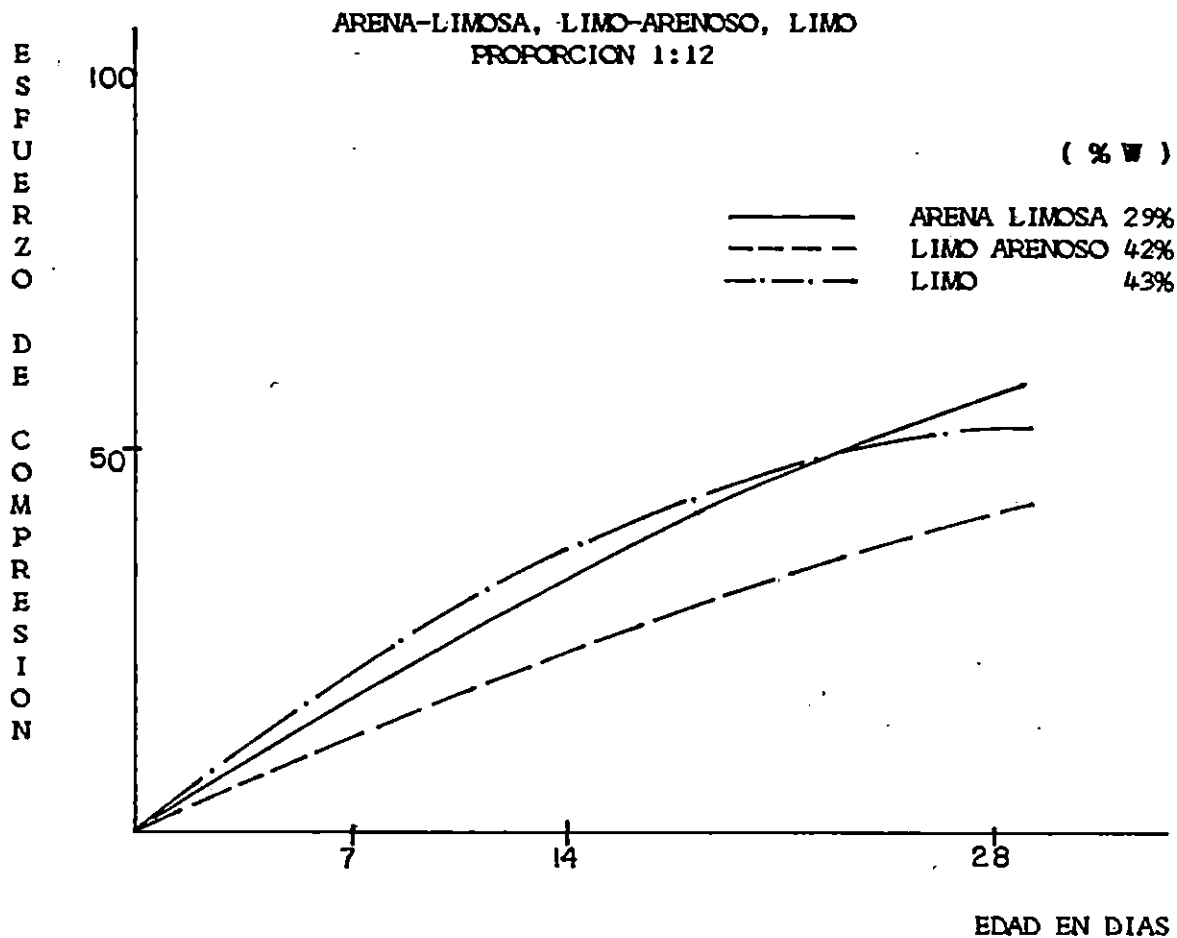
HUMEDAD %	NOCILINDRO	CARGA (LBS)	AREA (CM²)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM²) EDAD EN DIAS f'sc						REVENIMIENTO PLC
				7	PROM	14	PROM	28	PROM	
29	1	7000	188.7	16.9	16.7					4 3/4
	2	6500	179.1	16.5						
	3	14000	191.1			33.2	33.5			
	4	13500	181.5			33.7				
	5	22500	176.7					57.9	57.7	
	6	23000	181.5					57.5		

CUADRO 4.3  
LIMO ARENOSO

HUMEDAD %	NOCILINDRO	CARGA (LBS)	AREA (CM²)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM²) EDAD EN DIAS f'sc						REVENIMIENTO PLC
				7	PROM	14	PROM	28	PROM	
42	1	6500	183.9	16.0	15.5					5 1/2
	2	6000	181.5	15.0						
	3	8500	191.1			20.2	20.1			
	4	8000	181.5			20.0				
	5	17500	181.5					43.7	42.3	
	6	16000	176.7					41.0		

CUADRO 4.4  
LIMO ARENOSO

HUMEDAD %	NOCILINDRO	CARGA (LBS)	AREA (CM²)	RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM²) EDAD EN DIAS f'sc						REVENIMIENTO PLC
				7	PROM	14	PROM	28	PROM	
43	1	8000	179.1	20.3	21.0					5
	2	9000	188.7	21.6						
	3	16000	181.5			40.0	40.6			
	4	16500	181.5			41.2				
	5	20500	176.7					52.6	53.1	
	6	21500	181.5					53.7		

RESISTENCIA A LA COMPRESION (KG/CM<sup>2</sup>)

CUADRO 4.5  
CILINDROS ROTOS A TENSION (PRUEBA BRASILEÑA)

PROPORCION 1:12								
MATERIAL	HUMED %	NO CILIN	DIAM. (CM)	ALT. (CM)	CARGA (LBS)	RESISTENCIA A LA TENSION (KG/CM <sup>2</sup> )	PROM. KG/CM <sup>2</sup>	% QUE REPRESENTA DEL ESFUERZO DE COMPRESION
ARENA LIMOSA	29	9	15.1	30.3	15000	9.5	9.45	16.4
		10	15.1	30.4	15000	9.4		
LIMO ARENOSO	42	19	15.1	30.3	11500	7.3	7.15	16.9
		20	15.0	30.3	11000	7.0		
LIMO	43	29	15.0	30.4	12000	7.6	7.90	14.9
		30	15.1	30.3	13000	8.2		

**CUADRO Nº 4.6**  
**RESULTADOS DE PRUEBAS DE PRISMAS A CORTANTE 1:12**  
**A LOS 28 DIAS**

MATERIAL	HÜESTRA Nº	DIMENSIONES (CM)			CARGA (LBS)	CORTANTE (KG/CM <sup>2</sup> )	PROMEDIO (KG/CM <sup>2</sup> )	% QUE REPRESENTA DE LA COMPRESION
		a	b	t				
ARENA LINOSA	1	15	15	4.5	4000	19.0	15.42	29.6
	2	15	15	4.6	3500	16.27		
	3	15	15	4.8	3500	15.59		
	4	14.9	14.9	4.5	3000	14.35		
	5	15	15	4.8	3000	13.36		
	6	15	15	4.6	3000	13.94		
LIMO ARENOSO	1	14.7	14.7	4.4	2500	12.39	12.53	24.9
	2	15	15	4.5	3000	14.25		
	3	15	15	4.3	2500	12.43		
	4	14.8	14.8	4.5	2500	12.60		
	5	14.9	14.9	4.7	2500	11.45		
	6	14.8	14.8	4.5	2500	12.04		
LIMO	1	15	15	4.6	2500	11.62	13.23	26.7
	2	15.1	15.1	4.5	3000	14.16		
	3	15.1	15.1	4.8	3000	13.27		
	4	15	15	4.8	3000	13.36		
	5	15	15	4.5	3000	14.25		
	6	15.1	15.1	5.0	3000	12.74		

a=b: longitud de los lados del prisma en cm.

t: espesor de los prismas en cm.

RESULTADO DE ADHERENCIA DE ESPECIMENES ELABORADOS CON SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO  
 PROPORCION 1:12

113

CUADRO Nº 4.7  
 ARENA LIMOSA

ANCHO (CM)	LARGO (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	I (CM <sup>3</sup> )	DISTANCIAS (CM)		CARGA (KG)	ESFUERZO DE ADHERENCIA (KG/CM <sup>2</sup> )	OBSERVACIONES
				X	C			
19.5	40.0	780	20716.25	25	9.9	1550	13.53	COLADO EN DOS PARTES, SE OBSERVA AGRIETAMIENTO Y FALLA EN LA UNION DE CAPA Y CAPA
19.2	40.0	768	23592.96	25.5	9.65	1500	13.69	COLADO EN DOS PARTES, SE OBSERVA AGRIETAMIENTO Y FALLA EN LA UNION DE CAPA Y CAPA
19.7	40.0	788	25480.577	24.5	9.9	1700	14.02	COLADO COMPLETO, SE PRESENTA LA FALLA EN LA PARTE SUPERIOR JUSTO EN LA ZONA DE APOYO

CUADRO Nº 4.8  
 LIMO ARENOSO

ANCHO (CM)	LARGO (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	I (CM <sup>3</sup> )	DISTANCIAS (CM)		CARGA (KG)	ESFUERZO DE ADHERENCIA (KG/CM <sup>2</sup> )	OBSERVACIONES
				X	C			
19.5	40.0	780	20716.25	26.2	9.8	1150	10.47	COLADO EN DOS PARTES, NO PRESENTO GRIETA EN LA UNION DE CAPA Y CAPA, DANDOSE LA FALLA EN LA PARTE SUPERIOR DEL ESPECIMEN EN LA ZONA DE APOYO DE LA PLACA
19.1	40.5	773.55	23516.565	25.5	9.7	1150	10.61	COLADO EN DOS PARTES, NO PRESENTA GRIETA EN LA UNION DE CAPA Y CAPA, DANDOSE LA FALLA EN LA PARTE SUPERIOR DEL ESPECIMEN EN LA ZONA DE APOYO DE LA PLACA
19.4	40.1	777.94	20398.792	25.2	9.8	1300	11.49	COLADO COMPLETO, OBSERVANDO AGRIETAMIENTO EN LA PARTE SUPERIOR PARA ABAJO DE LA ZONA DE APOYO DE LA PLACA

CUADRO Nº 4.9  
 LIMO

ANCHO (CM)	LARGO (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	I (CM <sup>3</sup> )	DISTANCIAS (CM)		CARGA (KG)	ESFUERZO DE ADHERENCIA (KG/CM <sup>2</sup> )	OBSERVACIONES
				X	C			
19.4	40.3	781.82	20520.481	24.3	9.7	1300	10.83	COLADO EN DOS PARTES, SE OBSERVA AGRIETAMIENTO Y FALLA EN LA UNION DE CAPA Y CAPA
19.4	40.1	777.94	20398.792	25.6	9.7	1175	10.45	COLADO EN DOS PARTES, SE OBSERVA AGRIETAMIENTO Y FALLA EN LA UNION DE CAPA Y CAPA
19.5	40.1	801.45	25395.947	25.6	9.7	1350	11.52	COLADO COMPLETO, LA FALLA SE DIO A LA MITAD DEL ESPECIMEN

PRUEBAS DE ABSORCION A LOS 14 DIAS  
 PROPORCION 1:12

114

CUADRO Nº 4.10

MATERIAL	DISCO					CUBO				
	PESO HUMEDO (GR)	PESO SECO (GR)	CONTENIDO DE AGUA (GR)	ABS. %	ABS. PROM. %	PESO HUMEDO (GR)	PESO SECO (GR)	CONTENIDO DE AGUA (GR)	ABS. %	ABS. PROM. %
ARENA LIMOSA	1093.0	766.30	236.70	30.90	30.70	396.20	305.30	90.90	29.8	29.90
	1119.30	856.90	262.40	30.60		357.10	274.70	82.40	30.0	
LIMO ARENOSO	1154.20	842.70	311.50	36.96	36.79	173.50	126.8	46.70	36.83	36.85
	1031.40	755.0	276.40	36.61		183.40	134.0	49.40	36.87	
LIMO	1116.90	802.80	314.10	39.13	38.87	176.40	125.50	50.90	40.60	40.73
	1189.40	858.20	331.20	38.60		167.90	119.20	48.70	40.86	

CUADRO Nº 4.11

MATERIAL	DISCO					CUBO				
	PESO HUMEDO (GR)	PESO SECO (GR)	CONTENIDO DE AGUA (GR)	ABS. %	ABS. PROM. %	PESO HUMEDO (GR)	PESO SECO (GR)	CONTENIDO DE AGUA (GR)	ABS. %	ABS. PROM. %
ARENA LIMOSA	843.20	656.70	186.50	28.40	28.55	279.90	220.60	59.30	26.88	27.28
	161.50	125.50	36.0	28.70		235.30	184.30	51.00	27.67	
LIMO ARENOSO	831.1	634.00	197.10	31.09	31.35	119.50	91.30	28.20	30.89	30.96
	1162.70	883.50	279.20	31.60		276.60	211.10	65.50	31.03	
LIMO	1015.80	779.00	236.80	30.40	30.19	139.80	103.90	35.90	34.55	34.50
	1100.90	847.00	253.90	29.98		272.40	202.60	69.80	34.55	

CUADRO Nº 4.12  
 PESO VOLUMETRIC SECO

MATERIAL	14 DIAS			28 DIAS		
	PESO SECO (KG)	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRIC	PESO SECO (KG)	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )	PESO VOLUMETRIC
ARENA LIMOSA	3.55	0.002575	1378.5	3.428	0.002359	1457.40
LIMO ARENOSO	3.38	0.002631	1284.6	3.493	0.002632	1327.13
LIMO	3.44	0.002694	1276.84	3.579	0.002598	1377.60

**ANALISIS DE RESULTADOS**

- En el gráfico 4.1 correspondiente a la serie de pruebas finales, se puede observar que la mayor resistencia a la compresión a los 28 días, corresponde a la mezcla semifluida elaborada con arena limosa. Esto se puede atribuir a que este material requiere de menor porcentaje de agua para mantener igual grado de trabajabilidad que los otros materiales, reduciendo al mismo tiempo la relación agua cemento, lo cual contribuye al aumento de su resistencia.
  
- Para tener una mejor idea de como incrementa la resistencia a la compresión con la edad de curado en cada mezcla, se presenta a continuación un cuadro resumen en el que se muestran los resultados de resistencia a la compresión para los tres tipos de materiales a las edades de 7, 14 y 28 días.

## CUADRO 4.13

CUADRO RESUMEN DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS  
DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO  
PROPORCION 1:12

MATERIAL	% HUMEDAD	RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESION			% QUE REPRESENTA LA RESISTENCIA A LOS 28 DIAS		REVEN (PLG)
		7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	
ARENA LIMOSA	29	16.7	33.5	57.6	29%	58%	4 3/4
LIMO ARENOSO	42	15.5	20.1	42.3	37%	48%	5 1/2
LIMO	43	21.0	40.6	53.1	40%	76%	5

Del cuadro anterior se puede concluir lo siguiente:

- 1º Un revenimiento de 5 más o menos 1 plg.:
  - a) Permite una trabajabilidad adecuada durante un período comprendido entre 10 y 15 minutos.
  - b) Corresponde aproximadamente en los diferentes tipos de suelo a los porcentajes de humedad escogidos para mezclas semifluidas.
- 2º Un gran incremento de resistencia con el tiempo, lo que indica una gran dependencia de la resistencia con el curado; mucho mayor que en el concreto.

- Al relacionar los datos de adherencia con los de tensión obtenidos en la prueba brasileña, se encuentra una discrepancia, ya que los esfuerzos de adherencia son mayores a los de tensión, lo que en realidad se debe a los diferentes métodos de prueba, ya que la prueba brasileña determina el esfuerzo de tensión, y la prueba de adherencia, por basar su cálculo en la fórmula  $T=MC/I$ , que es utilizada únicamente en materiales elasto-plásticos ideales, determina un esfuerzo denominado modulo de ruptura, que no es el esfuerzo real de tensión, aunque sirve para algunos análisis.
  
- El máximo esfuerzo de tensión representa el 16.4% del esfuerzo de compresión para la arena limosa con una proporción 1:12 y una humedad del 29%, el 16.9% para el limo arenoso con la misma proporción y con una humedad del 42%, y 14.9% para el limo con igual proporción y humedad del 43% (ver cuadro 4.34). Según esto, el porcentaje que el esfuerzo de tensión representa de la resistencia a la compresión, varía entre 15 y 17%, por lo que se concluye que la resistencia a la tensión, no depende fundamentalmente de la granulometría del material.



De los resultados obtenidos de la prueba de absorción se concluye lo siguiente:

- a) La absorción disminuye conforme se incrementa el tiempo de fraguado de la mezcla, lo cual indica que es inversamente proporcional a la resistencia de cada material.
- b) La absorción del material es inversamente proporcional al peso volumétrico del material, independientemente del tipo de suelo con que se trabaje.
- c) El hecho de que prácticamente sean iguales las absorciones en cubos, que representa la zona central del elemento, y en los discos, indica que la compactación de la sección es uniforme.

## CAPITULO V

### "TRABAJO DE CAMPO"

El suelo cemento, como material de construcción ha sido estudiado de acuerdo a las diferentes aplicaciones que se le han deseado dar.

En este capitulo, se concluye el presente estudio con la aplicación del suelo cemento semifluido en la construcción de un muro de retención, con el objeto de verificar en que medida difieren los resultados de campo de los de laboratorio.

Al mismo tiempo se determinara, si el revenimiento responde en forma tan efectiva en el campo como en el laboratorio, para controlar la trabajabilidad de las mezclas y contribuir a mantener constante la relación agua cemento, así como el espesor de capas a colar y diámetro de vibrador que logra una compactación efectiva.

Para cuantificar lo anterior, se establecerá la resistencia a la compresión que posee el suelo cemento semifluido, elaborado en el campo, mediante la extracción y prueba a compresión de núcleos extraídos del muro a la

fecha de prueba.

### 5.1 DISEÑO DE MUROS

Como parte de los objetivos que se han planteado en este trabajo, corresponde a esta etapa final, la construcción de un muro de retención. Para lo cual se realizó un diseño que considera las condiciones de estabilidad de un muro de gravedad, y a partir de esto determinar la sección del muro, verificando que los esfuerzos generados en las secciones críticas no sobrepasen los esfuerzos permisibles para el suelo cemento semifluido obtenidos en este estudio.

Los factores de seguridad utilizados para el análisis de estabilidad en el muro, son los que establece el **REGLAMENTO DE EMERGENCIA DE DISEÑO SISMICO DE EL SALVADOR**. Los que se presentan a continuación:

CONTENIDO	G	G + S
F.S.V.	1.2	1.1
F.S.D.	1.2	1.1

El factor de seguridad por asentamiento considerando cargas de trabajo y esfuerzos reducidos son:

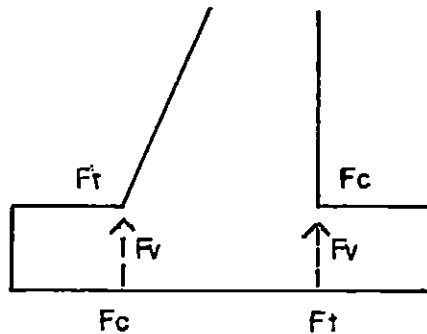
	G	G + S
Si $\sigma_t/\sigma_p > 0.25$	3	2
Si $\sigma_t/\sigma_p \leq 0.25$	2.5	1.5

Donde:  $\sigma_t$ : Esfuerzo de talón

$\sigma_p$ : Esfuerzo de punta

Las secciones críticas analizadas son aquellas donde se generan los esfuerzos máximos de compresión, tensión y cortante, debidos a las diferentes condiciones de carga a las que esta sometida la estructura. Las secciones consideradas como críticas son:

#### a) SECCIONES CRITICAS EN ZAPATA

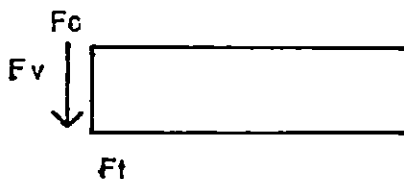


$F_c$ : Esfuerzo de compresión

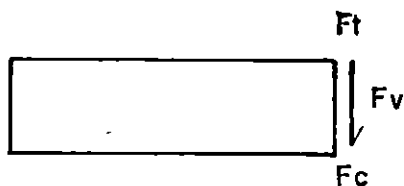
$F_t$ : Esfuerzo de tensión

$F_v$ : Esfuerzo de cortante

#### a1) UNION DE PUNTA Y CUERPO DE MURO

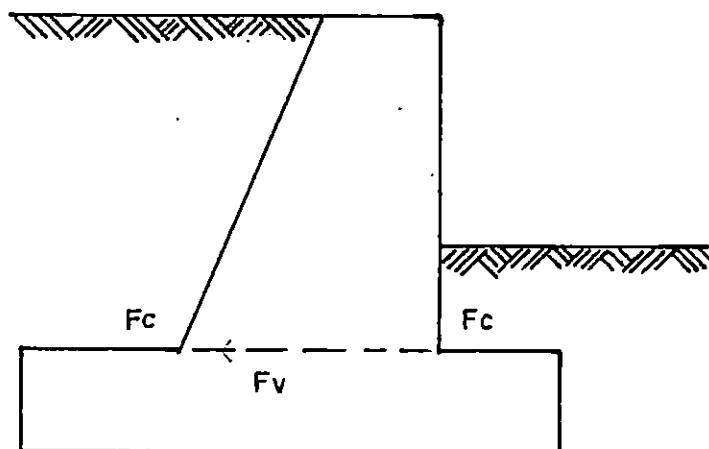


a2) UNION ENTRE TALON Y CUERPO DE MURO



b) SECCIONES CRITICAS ANALIZADAS EN PANTALLA

b1) PUNTO DE CONTACTO ENTRE PANTALLA Y ZAPATA



Para conocer el comportamiento de los esfuerzos en la pantalla, se ha seleccionado la altura vista del muro en 5 tramos. La zona entre la altura vista y el punto de contacto de zapata y pantalla en 3 tramos, analizando en cada tramo,  $F_c$ ,  $F_t$  y  $F_v$ .

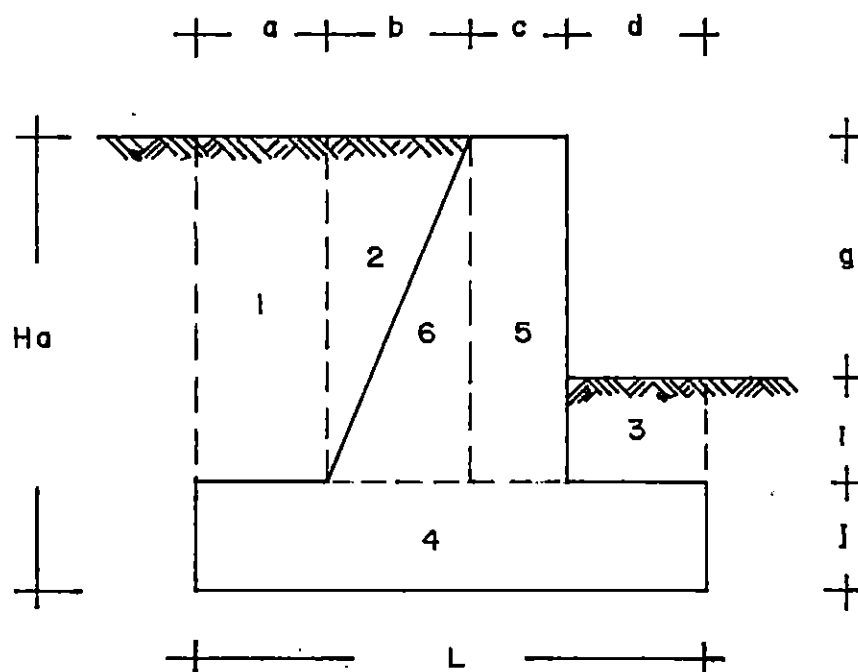
EL REGLAMENTO DE EMERGENCIA DE DISEÑO SISMICO DE EL

SALVADOR, establece aplicar un factor de reducción de 0.66 cuando se trabaja con esfuerzos últimos y cargas de trabajo.

Adicional a esta reducción se considera un factor de reducción de 20%, debido a que las mezclas se realizan en el campo, dosificándolas por volumen y no por peso.

La revisión de la estabilidad del muro y de los esfuerzos en la pantalla, punta y talón se realizó por computadora.

**NOMENCLATURA UTILIZADA EN EL PROGRAMA Y SECCIONAMIENTO PARA CALCULO DE AREAS.**



A continuación se presentan los resultados del análisis por computadora del muro.

DATOS	VALORES	CALCULO MURO DE RETENCION DE SUELO - CEMENTO	
Pv suelo	1.60 ton/m <sup>3</sup>	SEMIFLUIDO, PROPORCION	1 :12
Pv S-C	1.33 ton/m <sup>3</sup>		
N relle.	11 golpes	FECHA: JULIO-1995	
N cimen.	20 golpes		
Ah	0.20	PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION	
Av	0.10		
Ft =	7.50 Kg/cm <sup>2</sup>	LOCALIZACION: UES	
Fc =	40.00 Kg/cm <sup>2</sup>		
Fv =	12.50 Kg/cm <sup>2</sup>		

CALCULO PESO, EMPUJES Y MOMENTOS RESISTENTES Y ACTUANTES SOBRE EL MURO

DATOS	VALORES	AREA	AREA	P.V.	W	BRAZO	Mr	Ma
		#	(mts <sup>2</sup> )	(ton/m <sup>3</sup> )	ton	m	ton-m	ton-m
a	0.30	1	0.72	1.60	1.15	1.25	1.44	
b	0.50	2	0.60	1.60	0.96	0.93	0.90	
c	0.30	3	0.12	1.60	0.19	0.15	0.03	
d	0.30	4	0.60	1.33	0.80	0.77	0.61	
e	0.00	5	0.72	1.33	0.95	0.45	0.43	
f	0.00	6	0.56	1.33	0.74	0.70	0.52	
g	2.00	7	0.00	1.33	0.00	0.00	0.00	
i	0.40	8	0.00	1.33	0.00	0.00	0.00	
j	0.40							
r	0.00			Er =	0.00	0.00	0.00	
q	0.00			Eq =	0.00	0.00	0.00	
Area =		1.88	Sum W =		4.80			
muro		=====			=====			

		EMPUJE	BRAZO	
		ton	m	
L (m) =	1.40			
hp (m) =	0.80	Ep = 1/2*PVS*hp <sup>2</sup> *Kp =	1.52	0.27 0.40
Ha (m) =	2.80	Ea = 1/2*PVS*Ha <sup>2</sup> *Ka =	2.12	0.93 1.97
Nq =	22.08	Ehs = 3/8*PVS*Ha <sup>2</sup> *ah =	0.94	1.68 1.58
Nr =	22.19	Evs = 1/2*PVS*Ha <sup>2</sup> *av =	0.63	0.56 0.35
0 cim. =	31.50	Eq = q*Ha*Ka =	0.00	0.00 0.00
0 relle =	29.70			
Kp =	2.96	Sum G =	0.60	4.33 1.97
Ka =	0.34			
0' =	31.50	Sum G+S:	2.17	4.33 3.91

---

**CALCULO Y REVISION DE ESTABILIDAD DEL MURO Y ESFUERZOS EN EL SUELO**

CONDICION	G	G+S
FSV = SUM(MR)/SUM(MA) =	2.19	1.11
FSD = $\frac{E_p + (W - E_{vs}) * (1 - \text{sen}(\theta_{cim}))}{(E_a + E_{hs} + E_q)}$ =	1.80	1.15
Xa = $\frac{\text{SUM}(\text{MR}) - \text{SUM}(\text{MA})}{W}$ =	0.49	0.09 m
e = $L/2 - X_a$ =	0.21	0.61 m
	L/6 =	0.23 m
FACTOR DE SEGURIDAD	2.50	1.50
Esfuerzo admisible =	21.24	35.41 ton/m <sup>2</sup>
Esfuerzo de punta =	6.50	36.42 ton/m <sup>2</sup>
Esfuerzo de talon =	0.35	0.00 ton/m <sup>2</sup>

**REVISION PANTALLA POR ESFUERZOS DE TENSION Y COMPRESION**

=====

**ESFUERZOS ULTIMOS DEL MATERIAL**

$$f_t = 7.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c = 40.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_t = f_c = \frac{M * y}{I} = \text{esfuerzo de tensión y compresión.}$$

M = momento flexionante producido por la combinación de esfuerzos del suelo en la sección analizada

$$y = 0.50 * d \quad = \text{distancia del eje neutro a la fibra extrema}$$

$$I = \frac{b * d^3}{12} \quad = \text{momento de inercia de la sección analizada respecto al eje neutro}$$

b = ancho de la sección analizada

d = peralte de la sección analizada



**CALCULO DE MOMENTOS EN LA PANTALLA**

No	ALTURA	ACTIVO	SISMICO	PASIVO	COMBINACIONES	
	(A)	(S)	(P)	A+S-P	A-P	
	m	ton-m	ton-m	ton-m		
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.40	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
3	0.80	0.05	0.04	0.00	0.06	0.05
4	1.20	0.16	0.12	0.00	0.21	0.16
5	1.60	0.37	0.29	0.00	0.50	0.37
6	2.00	0.72	0.58	0.00	0.97	0.72
7	2.13	0.87	0.70	0.01	1.18	0.87
8	2.27	1.05	0.84	0.04	1.38	1.00
9	2.40	1.24	1.00	0.15	1.57	1.09

**CALCULO Y REVISION ESFUERZOS DE TENSION Y COMPRESION**

No	M	d	y	I	ft o fc	Tensión	Compresión
	ton-m	m	m	m <sup>4</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>		
1	0.00	0.30	0.15	0.0023	0.00	Cumple	Cumple
2	0.01	0.38	0.19	0.0047	0.03	Cumple	Cumple
3	0.06	0.47	0.23	0.0085	0.17	Cumple	Cumple
4	0.21	0.55	0.28	0.0139	0.42	Cumple	Cumple
5	0.50	0.63	0.32	0.0212	0.74	Cumple	Cumple
6	0.97	0.72	0.36	0.0307	1.14	Cumple	Cumple
7	1.18	0.74	0.37	0.0344	1.27	Cumple	Cumple
8	1.38	0.77	0.39	0.0384	1.39	Cumple	Cumple
9	1.57	0.80	0.40	0.0427	1.47	Cumple	Cumple

Para la revisión de los esfuerzos de tensión y compresión se utilizan los esfuerzos de trabajo, para lo cual los esfuerzos últimos del material se redujerón con un factor de  $0.66 \cdot 0.80 = 0.528$

## REVISION PANTALLA POR ESFUERZO CORTANTE

Esfuerzo último del material.

$$f_v = 12.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = \frac{V}{b * d} = \text{esfuerzo cortante}$$

V = cortante producido por los esfuerzos del suelo  
en la sección analizada

d = peralte de la sección analizada

b = ancho de la sección analizada

## CALCULO DE CORTANTES EN LA PANTALLA

No	ALTURA m	COMBINACIONES			COMBINACIONES	
		ACTIVO (A) ton	SISMICO (S) ton	PASIVO (P) ton	A+S-P	A-P
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.40	0.04	0.02	0.00	0.05	0.04
3	0.80	0.17	0.08	0.00	0.19	0.17
4	1.20	0.39	0.17	0.00	0.42	0.39
5	1.60	0.69	0.31	0.00	0.75	0.69
6	2.00	1.08	0.48	0.00	1.17	1.08
7	2.13	1.23	0.55	0.04	1.30	1.19
8	2.27	1.39	0.62	0.17	1.38	1.22
9	2.40	1.55	0.69	0.38	1.40	1.18

### CALCULO Y REVISION DE ESFUERZO CORTANTE

128

No	V ton	d m	fv Kg/cm <sup>2</sup>	Observación
1	0.00	0.30	0.00	Cumple
2	0.05	0.38	0.01	Cumple
3	0.19	0.47	0.04	Cumple
4	0.42	0.55	0.08	Cumple
5	0.75	0.63	0.12	Cumple
6	1.17	0.72	0.16	Cumple
7	1.30	0.74	0.17	Cumple
8	1.38	0.77	0.18	Cumple
9	1.40	0.80	0.17	Cumple

Para la revisión del esfuerzo cortante se utiliza el esfuerzo de trabajo, para lo cual el esfuerzo último del material se redujo con un factor de  $0.66 \cdot 0.80 = 0.528$

#### REVISION ZAPATA

Esfuerzos últimos del material

$$F_t = 7.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_c = 40.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_v = 12.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$f_{s1}$  = esfuerzo resultante en el suelo, en la parte delantera del pie o talón

$f_{s2}$  = esfuerzo resultante en el suelo, en la parte posterior del pie o talón

$M$  = momento flexionante producido por el esfuerzo resultante del suelo en el pie o talón

$V$  = fuerza cortante producida por el esfuerzo resultante del suelo en el pie o talón

$f_t = f_c = \frac{M}{I} \cdot y$  = esfuerzo de tensión y compresión

$f_v = \frac{V}{b \cdot d}$  = esfuerzo cortante

$y = 0.50 * J$  = distancia del eje neutro a la fibra extrema

$I = \frac{b * J^3}{12}$  = momento de inercia de la sección analizada respecto al eje neutro

$b$  = ancho de la sección analizada del pie o talón

$J$  = peralte de la sección analizada del pie o talón

#### CALCULO Y REVISION DE ESFUERZOS EN EL PIE

CONDICION	G	G+S
fs1 (ton/m <sup>2</sup> ) =	6.50	36.42
fs2 (ton/m <sup>2</sup> ) =	5.18	0.00
M (ton-m) =	0.27	1.02
V (ton) =	1.75	4.80
ft (kg/cm <sup>2</sup> ) =	1.02 Cumple	3.82 Cumple
fc (kg/cm <sup>2</sup> ) =	1.02 Cumple	3.82 Cumple
fv (kg/cm <sup>2</sup> ) =	0.44 Cumple	1.20 Cumple

#### CALCULO Y REVISION DE ESFUERZOS EN EL TALON

CONDICION	G	G+S
fs1 (ton/m <sup>2</sup> ) =	1.67	0.00
fs2 (ton/m <sup>2</sup> ) =	0.35	0.00
M (ton-m) =	0.04	0.00
V (ton) =	0.61	0.00
ft (kg/cm <sup>2</sup> ) =	0.14 Cumple	0.00 Cumple
fc (kg/cm <sup>2</sup> ) =	0.14 Cumple	0.00 Cumple
fv (kg/cm <sup>2</sup> ) =	0.15 Cumple	0.00 Cumple

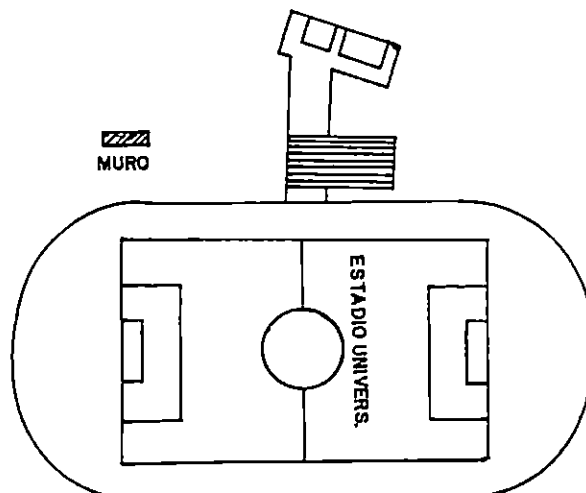
Para la revisión de los esfuerzos de tensión, compresión y cortante se utilizan los esfuerzos de trabajo, para lo cual los esfuerzos últimos del material se redujeron con un factor de  $0.86 * 0.80 = 0.528$

## 5.2 CONSTRUCCION DE MURO DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO

### 5.2.1 ESCOGITACION DEL SITIO

En el presente trabajo, se han estudiado tres tipos de suelo que cubren todo el espectro granulométrico, desde un limo hasta una arena, lo que permite aplicar los resultados obtenidos al diseño, basándose en una granulometría por lavado del material del lugar.

En base a esto, la zona escogida para la construcción de la sección experimental del muro de retención, presenta la ventaja de estar constituida por un suelo que posee características granulométricas comprendidas dentro de los límites estudiados en el presente trabajo, ubicándose al costado nor-poniente del estadio universitario de la Universidad de El Salvador (Ver ubicación en esquema 5.1).



ESQUEMA 5.1. Zona de ubicación del muro construido.

### 5.2.2 ANALISIS DEL SUELO

Como paso previo para el diseño de las mezclas, se hizo la granulometría por lavado del material del lugar, con lo que se clasificó el suelo como una arena limosa, con un porcentaje de arena de 57.9% y un porcentaje de limo de 42.1%.

### 5.2.3 DISEÑO DE LA MEZCLA

En base a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio hechas en la investigación final para una arena limosa, y tomando en cuenta los esfuerzos de tensión, cortante y compresión requeridos para el funcionamiento de un muro de retención del tipo de gravedad, se escogió la dosificación 1:12 (cemento-suelo), la que permite esperar las siguientes propiedades mecánicas de la mezcla endurecida.

RESULTADOS ESPERADOS DE LAS PROPIEDADES  
DE LA MEZCLA ENDURECIDA

PROPIEDAD	EDAD (EN DIAS)	
	14	28
RESISTENCIA A LA COMPRESION	33.5	57.6
RESISTENCIA A LA TENSION	_____	9.45
RESISTENCIA AL CORTANTE	_____	15.42
PESO VOLUMETRICO	1378.5	1457.4
ABSORCION	29.9	27.28

Las mezclas de campo se dosificaron por volumen y no por peso, como en el laboratorio, con el fin de poder establecer parámetros de comparación de las propiedades mecánicas que se logran entre las dos formas de dosificación, ya que la dosificación por volumen es la comúnmente usada en el país aun para la elaboración de concretos.

#### 5.2.4 PROCESO CONSTRUCTIVO

El proceso de elaboración de las mezclas, se puede resumir de la siguiente manera:

- 1º El suelo se tamizó por la malla #4, con el propósito de eliminar grumos y gravas de pómez, ya que los primeros al no penetrarles el cemento producen zonas de baja resistencia, mientras que los segundos dificultan el libre movimiento de las espas de la mezcladora.
- 2º La mezcla se elaboró en una mezcladora de eje horizontal, revolviendo inicialmente el agua y el cemento durante 1 min., agregando posteriormente el suelo y revolviendo durante un tiempo adicional de 5 min.

30 Para controlar la trabajabilidad de las mezclas, se utilizo el equipo del CONO DE REVENIMIENTO, manteniendo el revenimiento comprendido entre 4 y 6 plgs. lo que según el estudio final capítulo IV, garantiza mantener:

- a) La relación A/C dentro de los parámetros de diseño.
- b) La trabajabilidad durante 15 minutos

40 El muro se coló en tres partes, con esto se pretende verificar la adherencia del suelo cemento semifluido en el campo, la que según resultados obtenidos en el laboratorio es efectiva en este tipo de materiales.

50 La vibración inicialmente se hizo con un vibrador de vástago 7/8", pero debido a su baja potencia y radio de influencia, se requirió de un tiempo excesivo para lograr una adecuada compactación, lo que genero retraso e inconvenientes en el proceso constructivo, por lo que se opto por sustituirlo por otro de 2" de diámetro, con el cual se agilizó el reacomodo de la mezcla con un tiempo de vibrado de 5 segs. Este proceso se realizo hasta garantizar el vibrado uniforme de la mezcla.

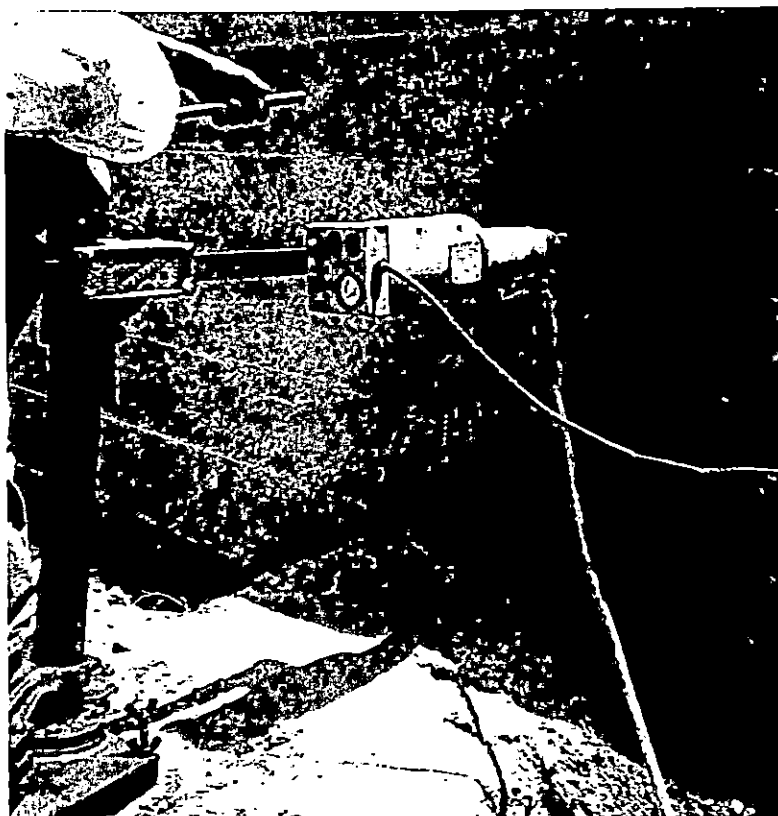


- 60 Durante el vibrado, se introdujo el vibrador de tal forma que penetrara al menos 2" en la capa anterior para "ELIMINAR" las juntas entre capas.
- 70 El espesor de las capas vibradas oscilo entre 12 y 15 cm.
- 80 Las juntas frías se escarificaron para mejorar la adherencia entre el suelo cemento endurecido y el fresco.
- 90 El curado se inicio una hora después de terminar el colado, humedeciendo 3 veces al día el muro, durante los primeros 7 días.
- 100 Se desmoldo a los siete días para no dañar la superficie del muro, ya que no se cepillaron los rostros internos de la madera usada en el molde.

### 5.3 EXTRACCION DE NUCLEOS Y PRUEBA A LA COMPRESION

Con el objeto de poder comparar los resultados de resistencia a la compresión obtenidos en el campo, con los obtenidos en el laboratorio, se extrajeron a los 14 y 28

días, núcleos del muro de 4" de diámetro (Ver fotografía 5.1), para ser sometidos al ensayo de compresión.



FOTOGRAFIA 5.1. Equipo y proceso de extracción de núcleos.

#### ENSAYO DE COMPRESION

Los núcleos extraídos se cortaron con disco de diamante para conformar cilindros de aproximadamente 4"x8", los que fueron probados a compresión.

Los resultados de esta prueba se presentan en el siguiente cuadro.

**CUADRO 5.1**  
**RESISTENCIA A LA COMPRESION DE NUCLEOS**  
**DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO**

EDAD: 14 DIAS						
Nº	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)	CARGA (LBS/CM <sup>2</sup> )	AREA (CM <sup>2</sup> )	RESISTENCIA COMPRESION (KG/CM <sup>2</sup> )	PROMEDIO (KG/CM <sup>2</sup> )
1	9.85	20.0	6000	76.2	35.7	31.8
2	9.65	20.1	4500	73.14	27.9	
EDAD: 28 DIAS						
3	10.00	19.2	8000	78.54	46.20	47.7
4	10.00	19.8	8500	78.54	49.10	

**PESO VOLUMETRICO Y ABSORCION**

Con la porción sobrante del núcleo después de obtener la muestra para compresión, se determinó el peso volumétrico suelto y absorción del suelo cemento del muro.

**CUADRO 5.2**  
**PESO VOLUMETRICO SECO Y ABSORCION DE NUCLEOS**  
**DE SUELO CEMENTO SEMIFLUIDO**

EDAD DIAS	Nº	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M <sup>3</sup> )	PROMEDIO (KG/M <sup>3</sup> )	% DE ABSORCION	PROMEDIO %
14	1	1271.4	1273.4	31.2	30.2
	2	1283.3		29.2	
28	3	1359.8	1354.7	25.6	25.45
	4	1349.6		25.3	

#### 5.4 ANALISIS DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos en el laboratorio en las pruebas finales, se determino que la resistencia a la compresión a los 14 días para la arena limosa es en promedio igual a  $33.5 \text{ kg/cm}^2$ , y de acuerdo al resultado mostrado en el cuadro 5.1, pág 136 de resistencia a la compresión de núcleos, que corresponde a los obtenidos en el campo, en el cual la resistencia es en promedio de  $31.8 \text{ kg/cm}^2$  y un valor mínimo de  $27.9 \text{ kg/cm}^2$ , lo que respecto a la resistencia obtenida en el laboratorio representa el 95%. Lo que deberá tomarse en cuenta para establecer las gráficas finales de diseño de mezcla.

Con respecto al peso volumétrico seco y la absorción, puede decirse de acuerdo a los resultados obtenidos del muro, que la absorción y el peso volumétrico seco obtenidos en el campo, no dependen de la forma en que se dosifique la mezcla, ya sea con proporciones en peso o en volumen.

#### 5.5 ANALISIS ECONOMICO

Con el objeto de visualizar en forma cuantitativa la relación de costos del suelo cemento semifluido con la

mampostería de piedra, se incluye el siguiente análisis de costos unitarios por m<sup>3</sup> en el que se involucran únicamente los costos directos.

#### FACTOR DE MANO DE OBRA

##### POR OBRA

AGUINALDO	5 %
VACACIONES	8 %
DESCANSO SEMANAL	27 %
SEGURO DE VIDA COLECTIVO	<u>2 %</u>
	42 %

ISSS Y FSV = 13%

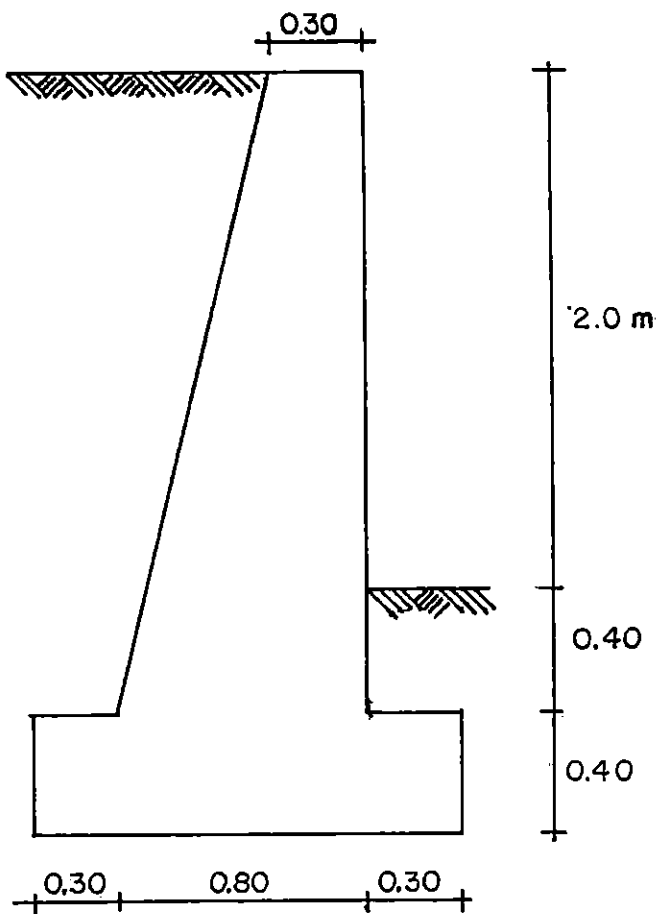
FACTOR = 1.42 x 1.13 = 1.605

##### POR DIA

AGUINALDO	0.05
VACACIONES	0.08
FINES DE SEMANA	0.217
SEGURO DE VIDA COLECTIVO	0.02
ASUETO REMUNERADO	0.043
ENFERMEDAD Y PERMISOS	<u>0.028</u>
	0.438

FACTOR = 1.438 x 1.13 = 1.625

## MURO DE SUELO CEMENTO



"HECHURA DEL MOLDE"

## MOLDEADO DE TABLERO FRONTAL

Altura = 2.4 mts.

Largo = 3.00 mts.

Varas de Tablas:  $2.4/0.25 = 10$  tablas

10 tablas de 3.00 mts. = 30 mts. = 36 varas

Varas de Cuartones:

Colocando 1 a cada 0.45 mts.:  $3/0.45 = 7$  cuartones  
 7 cuartones de 2.4 mts. = 16.8 mts.

Colocando un cuartón en la parte superior y otro en la parte inferior del tablero: 2 cuartones de 3 mts. = 6 mts.

Colocando 4 cuartones de contrafuerte de 2 mts.

$$4 \times 2 = 8$$

Cuatro cuartones como tensores de 1.5 mts.

$$4 \times 1.5 = 6 \text{ mts.}$$

Total mts. de cuartón = 3.68 mts. = 44 varas.

Clavos de 2  $\frac{1}{2}$ " : para fijar una tabla se requiere de 14 clavos.

$$14 \times 10 = 140 \text{ clavos}$$

Clavos de 4" : Para colocar el cuartón superior se necesita 7 clavos:

Cuartón inferior	7 clavos
Cuartón contrafuerte	4 clavos
Cuartón como tensor	8 clavos
Total	26 clavos

**MOLDEADO DE TABLERO POSTERIOR**

Altura : 2.5 mts.

Largo : 3.0 mts.

Varas de tablas:  $2.5/0.25 = 10$  tablas

$10 \times 3.0 = 30$  mts. = 36 varas

Varas de cuartón colocando 1 a cada 0.45 mts.:  $3/0.45 = 7$   
cuartones.

$7 \times 2.5 = 17.5$  mts.

1 cuartón en la parte superior del tablero, otro en la  
parte inferior:  $2 \times 3.0 = 6$  mts.

Total metros de cuartones = 23.5 mts = 28 varas

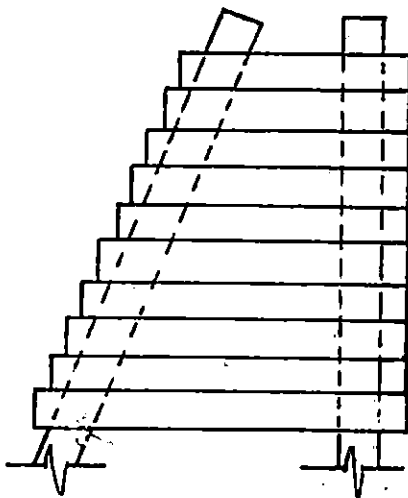
Clavos de  $2\frac{1}{4}$ ": para fijar una tabla se requiere de  
14 clavos:  $14 \times 10 = 140$  clavos

Clavos de 4": Para colocar el cuartón superior se  
necesita 7 clavos. El cuartón inferior necesita 7 clavos

Total = 14 clavos.



### MOLDEADO DE TABLEROS LATERALES



Varas de tablas =  $2.4/0.25 = 10$  Tablas

10 tablas a 0.75 mts. = 7.5 mts = 9 varas

como son dos tableros: son 18 varas de tabla

Clavos  $2\frac{1}{2}$ " : 4 clavos por tabla

$4 \times 10 = 40$  clavos por tablero o sea

$40 \times 2 = 80$  clavos de  $2\frac{1}{2}$ ".

Total del material para el molde:

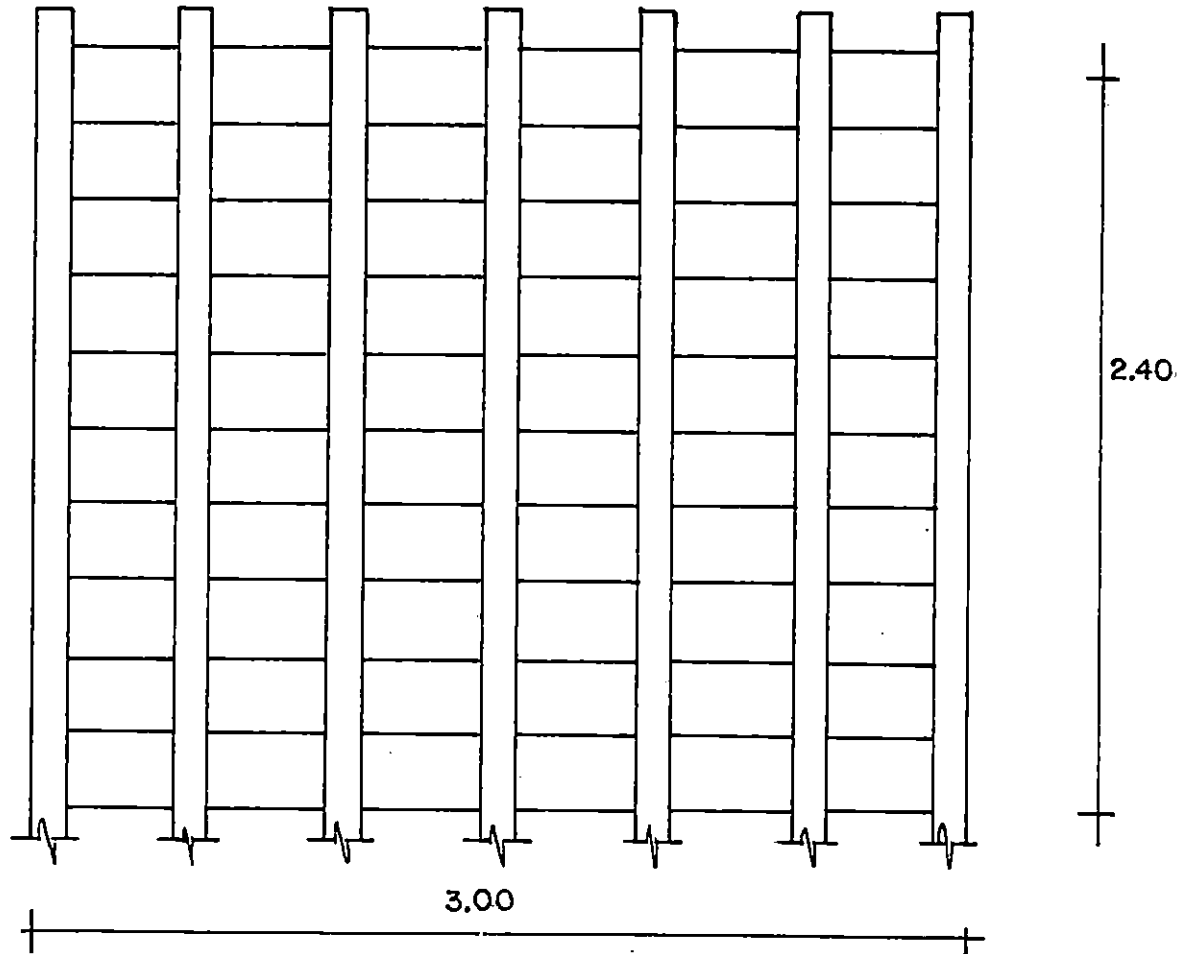
90 varas de tablas

85 varas de cuartón

4.5 lbs. de clavos de  $2\frac{1}{2}$ ".

2 lbs. de clavos de 4".

## HECHURA DE MOLDE



## MATERIALES

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIDAD ¢	SUB-TOTAL ¢
CUARTON	85	VARAS	8.25	701.25
TABLA	90	VARAS	11.35	1021.5
CLAVO DE 2½"	4.5	LIBRAS	3.5	15.75
CLAVO 4"	2	LIBRAS	3.5	7.00
				1745.50

## MANO DE OBRA

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO ¢	FACTOR	SUB-TOTAL ¢
CARPINTERO	7.2	M <sup>2</sup>	40	1.605	462.24
					462.24

Considerando 10 usos, debido al proceso repetitivo del molde.

Volumen cubierto por el molde = 5.64 m<sup>3</sup>.

Precio Unitario = (1745.5 + 462.24) / 10 x 5.64 =

39.14

INSTALACION DE MOLDE POR 5.64 M<sup>3</sup> DE 3 MTS. DE LONGITUD.

## MATERIALES

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIDAD ¢	SUB-TOTAL ¢

## MANO DE OBRA

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO ¢	FACTOR	SUB-TOTAL ¢
CARPINTERO	7.2	M <sup>2</sup>	10	1.605	115.56
AUXILIAR	4/7	DIA	37	1.625	34.36
					149.92

$$\text{PRECIO UNITARIO} = \text{¢ } 149.92/5.64 = \text{¢ } 26.58$$

- Tiempo de colocación de molde = 2 horas
- Personal: 1 carpintero y 2 auxiliares

### SUELO CEMENTO

#### MATERIALES

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIDAD ¢	SUB-TOTAL ¢
CEMENTO	19/5.64	BOLSA	36.00	121.28
AGUA	430	LITROS	0.10	4.3
COMBUSTIBLE	2.5/6.1	GALONES	13.0	5.33
ALQ. CONCRET.	1/6.1	DIA	250.00	40.98
PALA Y PIOCHA	1/6.1X80	DIA	70.00	0.14
CARRETILLA	2/6.1X80	DIA	250.00	1.02
VIBRADOR	1/6.1	DIA	125.00	20.49
				193.54

#### MANO DE OBRA

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO ¢	FACTOR	SUB-TOTAL ¢
OPERADOR	1/6.1	DIA	50	1.605	13.16
AUXILIAR	4/6.1	DIA	37	1.625	39.43
					52.59

$$\text{PRECIO UNITARIO} = \text{¢ } 193.54 + \text{¢ } 52.59 = \text{¢ } 246.13$$

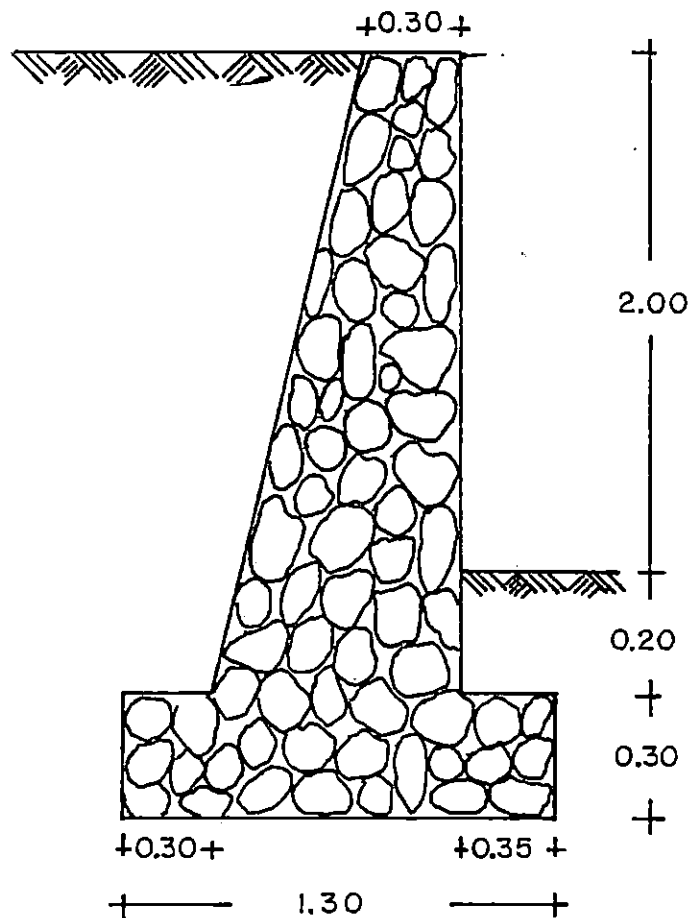
Haciendo las consideraciones:

-	Tiempo de mezcla	6 minutos
-	Nº de mezclas por m <sup>3</sup>	8
-	Jornada diaria	7 horas
-	Colocación de equipo	0.5 horas
-	Retiro y limpieza de equipo	<u>0.75 horas</u>
		1.25 horas
-	Tiempo de producción	5.75 horas
-	Eficiencia en el uso del tiempo	0.90

Se tiene que  $5.75 \times 1.06 = 6.1 \text{ m}^3/\text{día}$

P.U. m<sup>3</sup> de s-c = 1.1 (39.14 + 26.58 + 246.13) = ¢ 343.04

### MURO DE PIEDRA



## MAMPOSTERIA DE PIEDRA

## MATERIALES

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIDAD ¢	SUB-TOTAL ¢
PIEDRA	1.25	M³	120	150
ARENA	0.33	M³	70	23.1
CEMENTO	1.78	M³	36	64.08
AGUA	60	LITROS	0.1	6.0
				243.18

## MANO DE OBRA

DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO ¢	FACTOR	SUB-TOTAL ¢
ALBAÑIL	1	M³	72	1.605	115.56
PEON	0.5	M³	37	1.625	30.06
					145.62

$$\text{PRECIO UNITARIO} = (243.18 + 145.62) \times 1.1 = \text{¢ } 427.68$$

Considerando:

- 1 albañil
- 0.5 peón, ya que se asume que un peón sirve mezcla y ayuda a alcanzar materiales a 2 albañiles.

## 5.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. La mejor forma de realizar la revoltura es mezclando inicialmente el agua y el cemento durante un período de 1 minuto y posteriormente añadir el suelo, dándole un período de mezclado adicional de 5 minutos.
2. El método más adecuado para controlar la trabajabilidad de este tipo de mezclas, es el cono de revenimiento, ya que presenta una adecuada eficiencia en diferenciar leves variaciones en el contenido de humedad de la mezcla fresca y por su sencillez en el procedimiento y equipo.
3. Al realizar las mezclas con los diferentes contenidos de humedad se observó que los menores contenidos de humedad que permiten un tiempo de colocación comprendido entre 10 y 15 minutos son 29% para la arena limosa, 42% para el limo arenoso y 43% para limo. Pudiendo observar al mismo tiempo que los contenidos de humedad del material aumentan en relación inversa al tamaño del grano, estos contenidos

de humedad pueden obtenerse en el campo con un revenimiento entre 4 y 6 pulgadas.

4. Con el incremento del 1% de la humedad en la mezcla, no existe variación significativa de la resistencia a la compresión, pero si lo hay en la trabajabilidad de la mezcla, la que mejora notablemente de manera que ésta se puede reacomodar con facilidad.
5. De acuerdo a los porcentajes de cemento utilizados en la elaboración de las mezclas y de los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos se concluye que: la arena limosa alcanza mayores resistencias con porcentajes menores de cemento, esto se debe a que requiere menor porcentaje de agua para mantener igual grado de trabajabilidad que los otros materiales por tener menor superficie específica.
6. Al observar el incremento de la resistencia con el tiempo de curado, se puede concluir que este parámetro en el suelo cemento semifluido, depende en gran medida del curado, mucho más que el concreto.



7. Los resultados de las pruebas hechas al muro construido indican que la resistencia a la compresión obtenida en el campo, representa el 95% de la obtenida en el laboratorio a los 14 días y el 20% a los 28 días.
8. En cuanto a los resultados que se obtuvieron de las propiedades mecánicas del suelo cemento semifluido, y los resultados del análisis de costo, se puede concluir que es factible desde los puntos de vista técnico y económico para la construcción de muros de retención.
9. En el caso de las pilas de suelo cemento semifluido, es evidente que el costo por metro cubico de este elemento, resulta ser mucho menor que el establecido para un muro del mismo material; ya que las pilas no requieren de molde para su elaboración.
10. El uso de un vibrador de 2 pulgadas para compactar el muro, resultó ser muy efectivo comparado con uno de 7/8 de pulgada, debido a que su potencia y radio de influencia es mayor, lo cual proporciona mayor energía de compactación.

11. El espesor de las capas que pueden ser vibradas eficientemente oscila entre 12 y 15 cms.
12. Las juntas entre capas se eliminan introduciendo el vibrador por lo menos 2 pulgadas en la capa anterior a la que se esta vibrando, cuando la primera se encuentra aún en estado fresco.

#### RECOMENDACIONES

1. Realizar las revolturas de las mezclas en una mezcladora de eje horizontal.
2. Se recomienda investigar la utilización de piedra de escoria volcánica con suelo cemento semifluido, de manera de formar un conglomerado similar al concreto ciclopeo, ya que esto reduciría el costo y el tiempo de construcción de los elementos construidos a base de suelo cemento semifluido.
3. En los casos donde se requiera utilizar material de préstamo para la elaboración del suelo cemento semifluido, se recomienda utilizar arena limosa ya que alcanza mayores resistencias con porcentajes menores

de cemento.

4. Cuando los elementos de suelo cemento semifluido se moldean se recomienda cepillar e impregnar de un desmoldante los rostros internos del molde para permitir su retiro al más corto tiempo sin dañar el acabado.
5. Realizar un control estricto en la etapa de curado, específicamente en los muros, ya que las pilas por encontrarse confinadas en el suelo, su pérdida de humedad es menor, permitiendo un mejor curado.
6. Se recomienda mezclar inicialmente el agua y cemento y luego añadir el suelo ya que esto garantiza una mayor uniformidad de la mezcla y una mayor eficiencia de la mezcladora.
7. En las cabezas de las pilas se recomienda colocar una capa de 10 a 15 cm. de concreto para transmitir de mejor forma la carga de la viga a la pila, y de esta manera evitar posibles agrietamientos en los bordes.
8. Diseñar moldes que faciliten el desmoldado y que

permitan el mayor número de usos de éste, ya que el costo del muro se ve notablemente afectado por el costo del molde.

9. Tamizar el suelo utilizado por la malla N°4 para eliminar grumos de suelo donde el cemento no penetra, y para eliminar partículas que puedan impedir el libre movimiento de las aspas de la mezcladora.

#### METODOLOGIA DE DISEÑO DE MEZCLA SEGUN EL TIPO DE SUELO Y RESISTENCIA DESEADA

Con el objeto de aprovechar el material (tierra blanca), que se encuentra en el lugar donde se pretenda elaborar elementos a base de suelo cemento semifluido, se proporciona un método que permita alcanzar resistencia a compresión deseada, el que incluye un gráfico que involucra los siguientes parámetros:

1. Clasificación del suelo por su granulometría.
  - Arena Limosa
  - Limo Arenoso
  - Limo

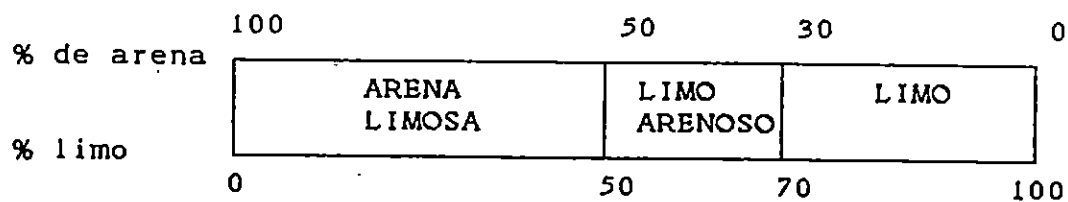
2. Resistencia a la compresión.
3. Dosificación en volumen.

**NORMAS MINIMAS DE CALIDAD PARA REPRODUCIR  
LOS RESULTADOS DE ESTE ESTUDIO**

1. La mezcla de suelo cemento semifluido se hará en una mezcladora de eje horizontal.
2. Se usará un revenimiento comprendido entre 4 y 6 pulgadas.
3. Se compactará el suelo cemento semifluido con un vibrador de al menos 1 1/2 pulgada de diámetro.
4. Se mantendrá el curado durante 14 días.

**APLICACION DEL METODO**

1. Realizar granulometría (por lavado) al material encontrado (tierra blanca).



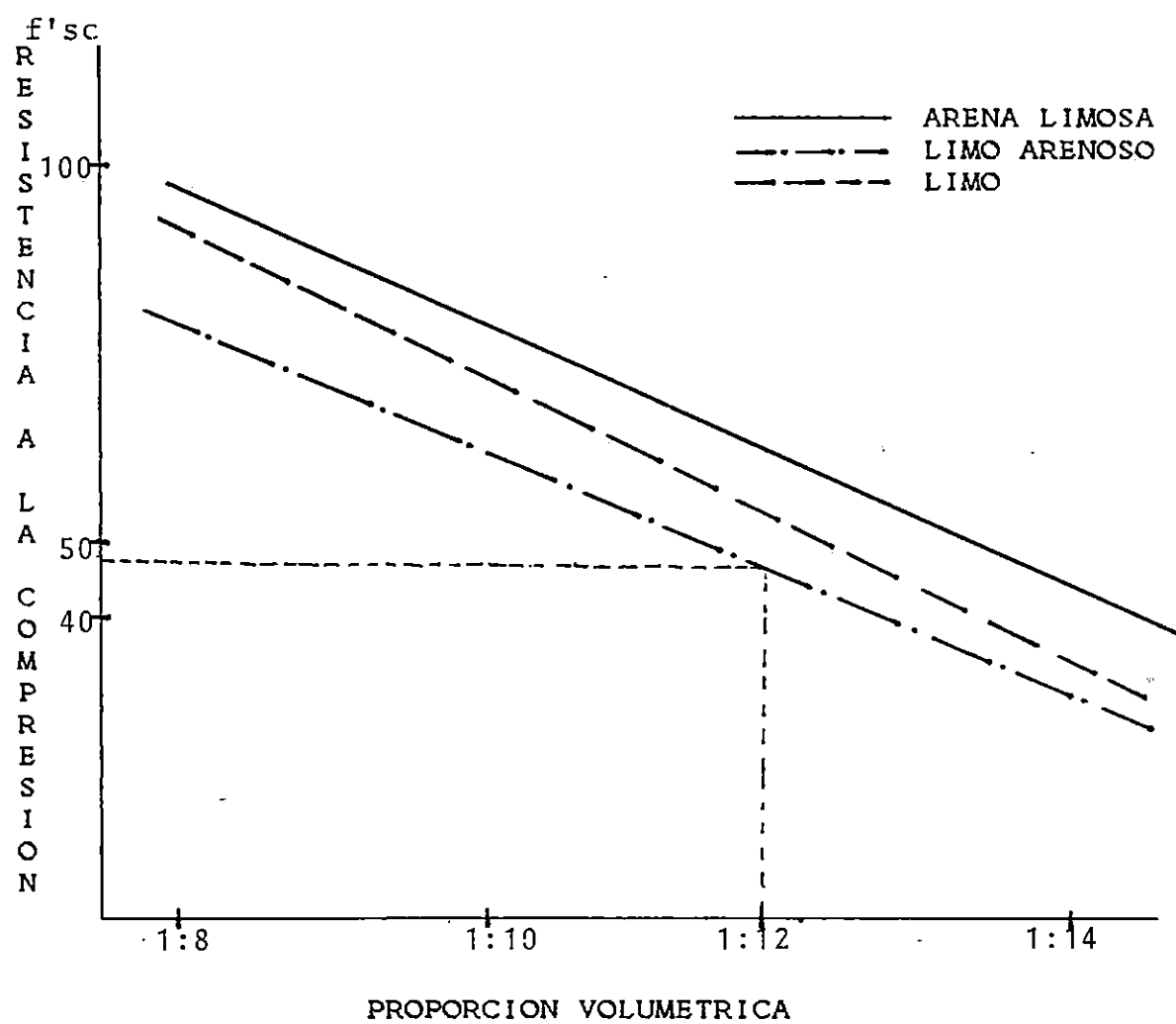
2. Definir la resistencia a la compresión con la que se desea trabajar, incrementando en un 20% para cubrir las variaciones de campo.
3. Entrar al gráfico 5.1 con la resistencia incrementada en el eje vertical ( $f'_{sc}$ ), interceptando con la curva que corresponde a la clasificación del material según el literal 1, y proyectándose en el eje horizontal (prop. volum.), donde se obtiene la lectura de la proporción en volumen a usar.

**EJEMPLO:**

- a) Resistencia deseada es de  $40 \text{ Kg/cm}^2$ .
- b) En la granulometría por lavado se obtiene que el suelo está formado por 60% de limo y 40% de arena, entonces el material se clasifica como un limo arenoso.
- c) Resistencia de cálculo =  $40 \times 1.20 = 48 \text{ Kg/cm}^2$ .
- d) Entrando al gráfico con  $48 \text{ Kg/cm}^2$  e interceptando la curva de limo arenoso y proyectándose en el eje (prop. volum.), se obtiene la proporción a utilizar de 1:12 (cemento : agua).

## GRAFICO DE DISEÑO DE MEZCLAS

GRAFICO Nº 5.1



## BIBLIOGRAFIA

1. AGUSTIN ANTONIO CASTRO Y OTROS (1970), Tecnología y Aplicaciones del Suelo Cemento, Seminario de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. U.E.S.
2. BALLARDO ROLANDO ARRIAZA Y OTROS (1970), Tecnología del Concreto Tomo IV. El Suelo Cemento Aplicado a la Construcción de Carreteras. Seminario de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. U.E.S.
3. FRANCISCO MIRANDA ROMERO (1985), Mampostería de Suelo Cemento para Vivienda de Bajo Costo. Trabajo de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, U.E.S.
4. IGNACIO FRANCES FADON Y JAIME ANTONIO SANCHEZ ARIAS (1976), Aplicación del Suelo Cemento a la Construcción de Vivienda Mínima. Seminario de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. U.E.S.



5. GUSTAVO ALEJANDRO CALDERON Y OTROS (1988), "Materiales y Métodos Constructivos para la Vivienda Marginal y Rural (Parte III), Seminario de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. U.E.S.
6. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS (1970), Manual de Concreto (Parte I). MEXICO.
7. CRUZ ANIBAL NAJERA MONTOYA Y OTROS (1994), Suelo Cemento Fluido, para la Estabilización de Suelos. Tesis U.P.E.S.
8. JOSÉ HUMBERTO LARIOS CERON Y OTROS (1986), Paneles de Concreto Ligero para Divisiones. Seminario de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. U.E.S.
9. THOMAS D. LARRSON, Concretos de Cemento Portland y Asfálticos.
10. A. M. NEVILLE, Tecnología del Concreto (1977), Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Tomo II.

**ANEXOS**

## ANEXO Nº 1

ASTM DESIGNACION: C 39 - 86

### METODO ESTANDAR DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

#### 1. ALCANCE

- 1.1 Este método cubre la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto tales como cilindros moldeados y núcleos. Está limitado al concreto que tenga un peso unitario mayor de 50 lb/ft<sup>3</sup> (800 kg/m<sup>3</sup>).
- 1.2 Los valores estipulados en libras-pulgadas deben ser considerados como las unidades estándar.
- 1.3 Esta norma puede involucrar materiales, operaciones y equipos peligrosos. Esta norma no pretende dar toda las direcciones de los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien use esta norma consultar y establecer la seguridad apropiada, prácticas sanas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias prioritarias para su uso.

## 2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS.

### 2.1 Estándares ASTM:

- C 31: Práctica para elaboración y curado de especímenes de concreto en el campo.
- C 42: Obtención y ensayo de núcleos y vigas de concreto aserradas de concreto.
- C 192: Método de elaboración y curado de especímenes de concreto, en el laboratorio.
- C 617: Práctica para cabecear especímenes cilíndricos de concreto.
- C 873: Método de ensayo para resistencia a la compresión del concreto colado en el lugar en moldes cilíndricos.
- E 4: Práctica para verificación de la carga de máquinas de ensayo.
- E 74: Práctica para calibración de instrumentos de medición de fuerza para verificar el indicador de carga de Máquinas de Ensayo.

### 2.2 Otras:

Manual de Agregados y Ensayos al Concreto.

### 3. SUMARIO DEL METODO

3.1 Este Método de Ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado o núcleo, a una razón que está dentro del rango prescrito antes de que la falla ocurra. El esfuerzo de compresión del espécimen es calculado dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen.

### 4. SIGNIFICADO Y USO.

4.1 Se necesita ser cuidadoso en la interpretación del significado para determinar la resistencia a la compresión por este Método de Ensayo, porque la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho con materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma del espécimen, bachada, procedimiento de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo, fabricación y edad, temperatura, condiciones de humedad durante el curado.

4.2 Este Método de Ensayo puede ser usado para determinar el esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con los métodos C31,

C 42 y C 192, Práctica C 617 y Método de Ensayo C 873.

5. APARATOS.

5.1 Máquina de Ensayo. La Máquina de Ensayo será de un tipo que tenga suficiente capacidad y que permita aplicar la carga continuamente y sin impactos.

5.2 La Máquina de Ensayo estará equipada con dos placas metálicas, con caras endurecidas (Nota 2), una de las cuales tendrá asiento esférico y se apoyará en la parte superior del espécimen y la otra será una placa rígida donde descansará el espécimen. Las caras de carga de las placas tendrán una dimensión mínima de al menos 3% mayor que el diámetro del espécimen a ser ensayado. Excepto por los artículos concéntricos descritos adelante, las caras de carga no deberán diferir de un plano por más de 0.001 pulg. (0.025 mm) en placas de 6 pulg. (152 mm) de diámetro o mayores, o por más de 0.001 pulg. en el diámetro de cualquier bloque menor; las placas nuevas deberán ser fabricadas con la mitad de éstas tolerancias. Cuando el diámetro de la cara de carga de la placa con asiento esférico exceda al diámetro del espécimen por más de  $\frac{1}{4}$  pulg. (13 mm), círculos concéntricos de no más que 1/32

pulg. (0.8 mm) de profundidad y no más que  $3/64$  pulg. (1.2 mm) de ancho serán inscritos para facilitar su propio centrado.

Nota 2. Es deseable que las caras de carga de las placas usadas para el ensayo de compresión del concreto tenga una dureza Rockwell no menor de 55 HRC.

## 6. ESPECIMENES.

6.1 Los especímenes no serán ensayados si el diámetro individual de algún cilindro difiere de otro diámetro del mismo cilindro por más del 2%.

NOTA 7. Esto puede ocurrir cuando se usan moldes descartables y son dañados o deformados durante el transporte, cuando moldes descartables flexibles son deformados durante el moldeo o cuando un núcleo se curva durante el taladrado.

6.2 La longitud deberá ser medida con una precisión de  $0.05 D$  cuando la relación longitud/diámetro es menor que 1.8, o más que 2.2, o cuando el volumen del cilindro es determinado de las dimensiones medidas.

7. PROCEDIMIENTO.

- 7.1 Los ensayos de compresión de especímenes curados en húmedo serán hechos tan pronto sea práctico, después de removerlo del lugar del curado.
- 7.2 Los especímenes de ensayo estarán guardando la humedad por algún método conveniente durante el período entre la remoción del lugar de curado y el ensayo. Serán ensayados en condición húmeda.
- 7.3 Todos los especímenes de ensayo para una edad dada, serán rotos con las tolerancias de tiempo permisibles prescritas a continuación:

EDAD DE ENSAYO	TOLERANCIA PERMISIBLE
24 HORAS	$\pm 0.5$ h. ó 2.1%
3 DIAS	2 h. ó 2.8%
7 DIAS	6 h. ó 3.6%
28 DIAS	20 h. ó 3.0%
90 DIAS	2 días ó 2.2%

- 7.4 Colocación del Especímen. Coloque la placa inferior, con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o bloque de la máquina de ensayo, directamente abajo de la placa de apoyo con asiento esférico. Limpiar las



superficies de apoyo de las placas superior e inferior. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de carga de la placa con asiento esférico. Mientras la placa superior baja sobre el espécimen, girar lentamente su porción móvil con la mano, para obtener un contacto uniforme.

7.5 Razón de Carga. Aplicar la carga continuamente y sin impactos.

7.5.1 Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, será permitida una razón mayor de carga.

7.5.2 No efectuar ajustes en la razón de movimiento de la placa en ningún momento, cuando el espécimen está en fluencia rápida e inmediatamente antes de la falla.

7.6 Aplicar la carga hasta que el espécimen falle y anote la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo. Note el tipo de falla y apariencia del concreto.

## 8. CALCULOS

8.1 Calcule el esfuerzo de compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo por el área de la sección transversal promedio determinada como se describe en la sección 6 y exprese el resultado con una precisión de 10 psi (69 KPa).

8.2 Si la relación L/D es menor de 1.8 corrija el resultado obtenido en 8.1 multiplicando por el apropiado factor de corrección mostrado en la siguiente tabla:

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
FACTOR	0.98	0.96	0.93	0.87

(Nota 8)

Nota 8. Estos factores de corrección se aplican a concreto de peso ligero pesando entre 100 y 120 lb/ft<sup>3</sup> (160 - 1920 kg/m<sup>3</sup>) y a concreto de peso normal. Son aplicables a concreto seco remojado al momento del ensayo. Los valores que no se dan en la tabla deberán ser determinados por interpolación. Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales del concreto de 2000 a 6000 psi (13.8 a 41.4 MPa).

## ANEXO Nº 2

### NORMA ASTM 496-86

#### METODO ESTANDAR DE ENSAYO PARA RESISTENCIA A LA TENSION DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO (PRUEBA BRASILEÑA)

##### 1. ALCANCE

- 1.1 Este método cubre la determinación de la resistencia a la tensión de especímenes cilíndricos de concreto tales como cilindros moldeados y núcleos.
- 1.2 Los valores estipulados en libras-pulgadas deben ser considerados como las unidades estándar.
- 1.3 Esta norma puede involucrar materiales, operaciones y equipos peligrosos. Esta norma no pretende dar toda las direcciones de los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien use esta norma consultar y establecer la seguridad apropiada, prácticas sanas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias prioritarias para su uso.

## 2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS.

### 2.1 Estándares ASTM:

- C 31: Práctica para elaboración y curado de especímenes de concreto en el campo.
- C 42: Obtención y ensayo de núcleos y vigas de concreto aserradas de concreto.
- C 192: Método de elaboración y curado de especímenes de concreto, en el laboratorio.

## 3. APARATOS.

3.1 Máquina de Ensayo. La Máquina de Ensayo cumple con los requerimientos del método de ensayo C-39 y será de un tipo con suficiente capacidad que permita aplicar la carga continuamente y sin impactos.

3.2 Placas de Apoyo o Platinas. Las superficies de las placas o platinas no deberán diferir de un plano por más de 0.001 pulg. (0.025 mm). Las placas o platinas serán usadas de manera que la carga sea aplicada sobre toda la longitud del espécimen.

3.3 Tiras de apoyo. Dos tiras de un material de empaque

como triplay, corcho o fibrex, de 1/8" (3.2 mm) de espesor y 1" (25 mm) de ancho, y una longitud igual a la del espécimen de prueba, que son colocadas entre el cilindro y las platinas o placas. Las tiras de apoyo no deben ser reusadas.

#### 4. ESPECIMENES ENSAYADOS

4.1 Los especímenes ensayados cumplen los requerimientos de práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el campo según método C-31 o método C-192 para especímenes de laboratorio.

4.2 Los especímenes de ensayo estarán guardando la humedad por algún método conveniente durante el período entre la remoción del lugar de curado y el ensayo. Serán ensayadas en condición húmeda.

#### 5. Procedimiento.

5.1 Trace líneas que marquen los diámetros de cada extremo del espécimen usando algún tipo de aditamento que garantice que estos se encuentran en el mismo plano.

5.2 Determine el diámetro del espécimen de prueba

aproximando a la centesima de pulgada (0.01 plg.), como un promedio de tres diámetros extremos y el centro del espécimen de tal forma que estén contenidos en el plano determinado por las marcas en las caras extremas. Determine el largo del espécimen al 0.1 de plg.; mediante el promedio de las dos longitudes medidas en los extremos del plano determinado por las líneas indicadas en los dos extremos.

5.3 Centre una de las cintas de apoyo, coloque el espécimen en ella y alinee la tira, las marcas y la máquina para que los diámetros marcados queden verticales; coloque la segunda tira a lo largo del cilindro centrándola con las líneas marcadas en los extremos de los cilindros.

5.4 Colocado el conjunto en el centro de la plancha de la máquina, aplique la carga en forma continua y sin impacto.

Anotar la máxima carga aplicada, tipo de falla y apariencia de la mezcla.

5.5 Calculos: Calcule el esfuerzo de tensión por agrietamiento del espécimen como sigue:  $T = 2P/LD$

Donde:

T = Esfuerzo de tensión por agrietamiento, psi (MPA).

P = Máxima carga aplicada, indicada por la máquina de prueba.

L = Longitud en pulgadas.

D = Diámetro en pulgadas.

### ANEXO Nº 3

#### PRUEBA DE CORTANTE EN PRISMAS

##### OBJETIVO:

Determinar la capacidad de adherencia existente entre el mortero y el bloque, en conjunto en el prisma, cuando se aplican cargas diagonales.

##### EQUIPO:

Máquina manual para compresión de cilindros

Dos piezas angulares que transmiten la carga

##### PROCEDIMIENTO:

Se emparejan las superficies de contacto del prisma con la pieza angular.

Se hace el montaje de la prueba.

Se aplica la carga a una velocidad de un mm/min.

El esfuerzo cortante se determinará con la fórmula siguiente:

$$V = F/t\sqrt{(b^2+L^2)}$$



Donde:

V = Esfuerzo cortante en  $\text{kg/cm}^2$

F = Carga aplicada en kg

L = Longitud del prisma en cm

b = Ancho del prisma en cm

t = Espesor del prisma en cm

Esta prueba se realizará a prismas de suelo cemento con dimensiones que tienen una relación uno a uno con el objeto de evitar que exista excentricidad al instante de aplicar la carga.

**ANEXO Nº 4**

**ENSAYO ESTANDAR DE ESFUERZOS DE ADHERENCIA DEL MORTERO EN  
UNIDADES DE MAMPOSTERIA.**

Designación C - 952 - 76

**1. ALCANCE**

Esta designación cubre los procedimientos para obtener los esfuerzos de adherencia entre unidades huecas de mampostería o solidos.

**2. PREPARACION DEL MORTERO DE UNION.**

Procedimiento aplicando los siguientes documentos:

El mortero de unión se prepara de acuerdo a la norma ASTM C - 305, verificando las pruebas siguientes:

- Contenido de humedad del mortero (ASTM C- 230).
- Retención de agua del mortero: ASTM C - 91.
- Esfuerzos de compresión del mortero: ASTM C - 109 Y C - 270.

DONDE:

- $f_g$  = Esfuerzos de adherencia en área gruesa.  
 $f_n$  = Esfuerzos de adherencia en área neta.  
 $x$  = Distancia del brazo de carga aplicada al eje del espécimen.  
 $P$  = Carga aplicada.  
 $c$  = Distancia al eje neutro a la cara del espécimen complemento de  $X$ .  
 $I_g$  = Momento de inercia de la sección gruesa, de la cara de contacto entre bloques, o sea del mortero que los une con el eje a lo largo de los bloques.  
 $I_n$  = Momento de inercia de la sección neta y dato en la cara de contacto sobre el eje a lo largo de los bloques.  
 $b$  = Largo del bloque.  
 $d$  = Ancho del bloque.  
 $t$  = El menor espesor de la carga hueca.  
 $A_g$  = Area gruesa de la sección.  
 $A_n$  = Area neta de la sección.

ANEXO Nº 5

PRUEBA DE ABSORCION EN BLOQUES DE CONCRETO

NORMA ANSI/ASTM C - 90 - 75

- OBJETIVO : Estudiar un procedimiento de laboratorio para determinar la absorción de bloque suelo-cemento.
- EQUIPO : Balanza, con una sensibilidad de aproximadamente 20 gr.  
Regla metálica graduada con 1/32" (ó 1 mm.).  
Horno, con regulador de temperatura.
- PROCEDIMIENTO : Debe marcarse cada espécimen no ocupando para ello más del 5% del área superficial del espécimen.
- Sumergir los especímenes de prueba en agua durante el período necesario a una temperatura de 15.6° a 26.7°C, para saturar los especímenes.
  - Pesarse el espécimen sumergido en el agua para cada período establecido (14 y 28 días), obteniendo así Wss.
  - Remover del agua los especímenes y

dejarlos escurrir por un minuto.

- Remover el agua visible con un paño húmedo y pesar cada espécimen.
- Secar al horno durante 24 horas por lo menos a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$  y pesar nuevamente.

#### CALCULOS:

Calcular la absorción por medio de la formula:

$$\text{- Absorción máxima absoluta en Kg/m}^3 = \frac{W_{\text{sat}} - W_{\text{seco}}}{\text{sat} - W_{\text{ss}}} \times 100$$

donde:  $W_{\text{sat}}$  = Peso saturado superficialmente seco en Kgs.

$W_{\text{seco}}$  = Peso seco en Kgs.

$W_{\text{ss}}$  = Peso sumergido en Kgs.

$$\text{- Absorción máxima en porcentaje} = \frac{W_{\text{sat}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{seco}}} \times 100$$

donde:  $W_{\text{sat}}$  = Peso del espécimen saturado superficialmente seco en kgs.

$W_{\text{seco}}$  = Peso del espécimen completamente seco en kgs.

**ANEXO Nº 6**

**NORMA ASTM C-117**

**METODO ESTANDAR DE PRUEBA PARA MATERIAL MAS FINO QUE LA  
MALLA 200, EN AGREGADO MINERAL, POR LAVADO.**

- ALCANCE** : Este método cubre el procedimiento para determinar, por lavado, la cantidad de material más fino que la malla 200, que contiene un agregado. Durante la prueba, se separan de los agregados tanto las partículas de arcilla y otros tipos de partículas del agregado que se dispersan con el agua de lavado, como los materiales solubles en el agua.
- EQUIPO** : Balanza de precisión del 0.1%  
Juego de mallas, la inferior la Nº 200 y la superior la Nº 8.
- RECIPIENTE** : De tamaño adecuado para contener la muestra cubierta de agua y permitir una vigorosa agitación sin que se de la pérdida de muestra o agua.

HORNO : De tamaño adecuado y capaz de mantener la T<sub>o</sub> Cte. a 110°± 5°C.

MUESTRA DE

PRUEBA : La muestra de agregado que se va a probar deberá mezclarse completamente y reducirse por cuarteo a una cantidad adecuada para la prueba. El agregado deberá humedecerse antes de realizar la reducción para minimizar la segregación y pérdida de polvo. El espécimen de prueba será el que se obtenga al final del proceso de reducción. El peso del espécimen de prueba después de secado, debe ser el que se indica a continuación:

Tamaño Nominal Máximo	Peso Mínimo de la Muestra (Gr)
Nº 4	500
Nº 8	100

No se permite reducir a un peso exacto, predeterminado.

PROCEDIMIENTO : Séquese la muestra de la prueba hasta lograr peso Cte. a una T<sub>o</sub> de 110°± 5°C y peso aproximado al 0.1% más cercano

del peso de la muestra. Después de secar y pesar la muestra de prueba, colóquela en un recipiente y añada agua suficiente como para cubrir (nota 2). Agite el conjunto con suficiente vigor como para lograr una completa separación de todas las partículas mas finas que la malla 200, de las partículas grandes y que el material fino quede en suspensión. Inmediatamente, vierta el agua de lavado que contiene los solidos de suspensión y solución en la malla 200, tengase cuidado de evitar en lo posible la decantación de las partículas gruesas de la muestra.

NOTA 2

- No deberán añadirse al agua detergentes, dispersos, ni otro tipo de sustancias.
- Añádase una segunda carga de agua a la muestra de prueba, agítelo y decantese como ya se indico. Repítase esta operación hasta que el agua de lavado quede limpia.



- Incorpórese por lavado de la malla todo el material retenido en ella a la muestra lavada. Seque el agregado lavado hasta obtener peso constante a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}C$  y péselo aproximándolo al 0.1%, más cercano.

**CALCULOS** : Calcúlese la cantidad de material que pasa la malla Nº 200 por lavado, aproximándola al 0.1% más cercano, como se indica a continuación:

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

Donde:

A = Porcentaje de material más fino que la malla Nº 200 por lavado.

B = Peso seco original de la muestra en gramos.

C = Peso seco de la muestra después del lavado.

**CALCULOS:**

Calcular esfuerzo total por medio de:

$$c = P/A$$

Donde: c = Esfuerzo de compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)

P = Carga máxima aplicada (Kg).

A = Area bruta de la superficie de carga.  
(cm<sup>2</sup>).

## ANEXO Nº 7

ASIGNACION ASTM: C 42-87

### METODO ESTANDAR DE ENSAYO PARA OBTENCION Y ENSAYO DE NUCLEOS TALADRADOS

#### 1. ALCANCE:

- 1.1 Este método de ensayo cubre la obtención, preparación y ensayo de núcleos taladrados de concreto para determinar su resistencia de compresión.
- 1.2 Los valores establecidos en unidades libras-pulgadas deberán ser consideradas como estándar.
- 1.3 Esta norma puede involucrar materiales, operaciones y equipo peligroso.

Esta norma no proporciona todas las direcciones de los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma, establecer la seguridad apropiada y práctica sana y determinar la aplicabilidad o limitaciones regulatorias prioritarias para su uso.

## 2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS

### 2.1 Normas ASTM

- C 39 M.E. para resistencia a la flexión del concreto (Usando viga simple con carga al tercio del claro).
- C 192 Método de Elaboración y Curado de especímenes para ensayo del concreto, en el laboratorio.
- C 617 Práctica para cabecear especímenes cilíndricos de concreto.
- M.E. = Método de Ensayo.

## 3. APARATOS

Extractor de Núcleos, para obtener especímenes cilíndricos (núcleos). Para especímenes que van a ser movidos por taladro descendente perpendicular a una superficie horizontal, un taladro gastado puede ser satisfactorio; para especímenes tomados por taladro en otra dirección o cuando el diámetro del espécimen de ensayo debe ser exactamente determinado para mayor precisión en los cálculos de resistencia a la compresión, se deberá usar un taladro de diamantes.

#### 4. MUESTREO

##### 4.1 General:

4.1.1 Las muestras de concreto endurecido para usar en la preparación de especímenes de ensayo no deberán ser tomadas hasta que el concreto se vuelva bastante duro para permitir que la muestra se remueva sin perturbar el enlace entre el mortero y el agregado grueso. En general el concreto deberá tener 14 días de edad antes de que el espécimen sea removido. Cuando en la preparación de los especímenes de ensayo para resistencia de las muestras de concreto endurecido, éstas presentan defectos anormales o que sea dañada en el proceso de remoción, no deberán ser usadas.

4.2 Taladrado del núcleo. Un núcleo tomado perpendicularmente a la superficie horizontal deberá ser localizado, cuando sea posible, siempre que su eje sea perpendicular a la cama de concreto como originalmente fue colocado y nunca cerca de juntas o bordes de un elemento o depósito. Un espécimen tomado perpendicularmente a una superficie vertical, o

perpendicular a una superficie con deterioro deberá ser tomado en las cercanías de la mitad de la unidad o depósito, cuando sea posible y no cerca de juntas formadas o bordes de una unidad o depósito.

## 5. RESISTENCIA A LA COMPRESION.

5.1 El Especímen de Ensayo. El diámetro del núcleo para determinación de la resistencia a la compresión deberá ser preferiblemente de al menos tres veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso usado en el concreto y puede ser de al menos dos veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso en el núcleo obtenido. La longitud del núcleo, cuando sea cabeceado, deberá ser tan próximo como sea posible a dos veces su diámetro. Un núcleo que tenga una altura máxima menor del 95% de su diámetro antes de cabeceado, o altura menor que su diámetro después de cabeceado, no deberán ser ensayados.

5.2 Preparación Final. Los extremos del núcleo a ser ensayado a compresión, estarán esencialmente lisos, perpendicular al eje longitudinal y del mismo diámetro como el cuerpo del especímen.

5.3 Ensayo. Ensayar el espécimen de acuerdo con las provisiones aplicables del Método de Ensayo C 39.

5.4 Cálculos. Calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen usando el área de la sección transversal basada en el diámetro promedio del espécimen.

5.4.1 Si la relación longitud-diámetro del espécimen excede 2.10, deberá ser reducida su longitud para caer entre los límites de la relación de 1.94 a 2.10. Especímenes con estas relaciones no requieren corrección.

5.4.2 Si la relación longitud-diámetro del espécimen es menor que 1.94, aplicar los factores de corrección mostrados en la siguiente tabla:

RELACION L/D	FACTOR DE CORRECCION (A)
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87