

FUES
1501
=634d
1995
EJ. 2

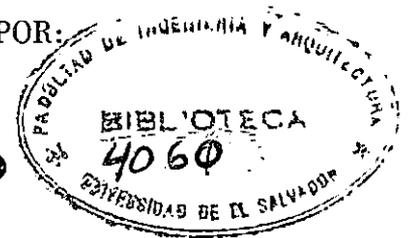
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“DISEÑO DE LOSETAS PREFABRICADAS
UTILIZANDO CONCRETO REFORZADO
DE PESO LIGERO”.**

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

JUAN CARLOS FLORES RECIOS
RAMON ARTURO GOMEZ VELASCO
JUAN JOSE ROMERO ROSA



15101917
15101917

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

JULIO DE 1995.

SAN SALVADOR,

EL SALVADOR,

CENTRO AMERICA

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



ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ

TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A LA OPCION AL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL

**"DISEÑO DE LOSETAS PREFABRICADAS UTILIZANDO
CONCRETO REFORZADO DE PESO LIGERO".**

PRESENTADO POR:

JUAN CARLOS FLORES RECINOS
RAMON ARTURO GOMEZ VELASCO
JUAN JOSE ROMERO ROSA

TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:

COORDINADOR


: ING. JOAQUÍN MARIANO SERRANO CHOTO

ASESOR


: ING. IGNACIO FRANCES FADON

ASESOR


: ING. PORFIRIO LAGOS VENTURA

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

A nuestra ALMA MATER

por habernos formado académicamente

A la empresa FRANCES CANSINO S.A. de C.V.

**por prestarnos las instalaciones y equipo del
Laboratorio, para elaborar nuestro trabajo de graduación**

Al personal técnico de asesores

quienes nos guiaron en la consecución de nuestras metas

Al personal del laboratorio de Suelos y Materiales

de la Escuela de Ingeniería Civil por

su colaboración

EL GRUPO DE TRABAJO

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO

Porque su luz me iluminó siempre para llevar a feliz término la meta encomendada.

A MIS AMADOS PADRES

José Luis y Bertha Idalia, verdaderos edificadores de este logro, porque con su amor y desvelos a mi lado me ayudaron a salir adelante.

A MIS ABUELITAS

Mamá Nina y abuelita Consuelo porque sus oraciones constantes han acompañado mis años de estudiante.

A MIS HERMANOS

Aldo, Miri, Sandra, Gracia, Luis y Claudita, porque sé que disfrutaban mi triunfo como propio.

A MI NOVIA

Silvi, por acompañarme siempre con su amor en los momentos más difíciles de mi carrera.

A MIS SOBRINOS

Javi y Gracia María, con infinita ternura, en el inicio de sus vidas, deseando que el futuro les sea generoso.

A MIS COMPAÑEROS

Por haber alcanzado juntos la meta impuesta a pesar de nuestras diferencias.

A TODOS ELLOS, les dedico esta última etapa de mi formación profesional, con amor por ser en mi vida los grandes pilares que la sostienen, la luz que la guía; con gratitud, por su apoyo incondicional, por su ayuda oportuna. Para ustedes este triunfo.

Juan Carlos

DEDICATORIA

...pase lo que pase, no se
achique, siga adelante...
Rosita Velasco

TRABAJO QUE DEDICO:

A DIOS TODOPODEROSO

Por permitirme vivir este momento.

A MIS PADRES

Víctor Manuel Gómez y María Rosa Velasco de Gómez (Q.D.D.G.) en especial a tí "Lonchita", por enseñarme a enfrentar los retos de la vida con entrega y dedicación.

A MI ABUELITA

Antonia Velasco (Q.D.D.G.), con sentimiento por no poder compartir esta alegría.

A MI ESPOSA

Patricia Elizabeth, por esa paciencia y amor demostrada a lo largo de todos estos años.

A MI ANGELITO

Farir Arturo, con el compromiso de recompensarle ese tiempo que le he negado.

A MIS HERMANOS

Luis, Erick, Blanca, Marlene, Alba y Marta, en especial al viejo Luis, por apostar a ganar en este proyecto.

A MI SUEGRA

Berta Medrano, mi segunda madre..

A MIS CUÑADOS

Julio César y Carlos Joaquín.

A MIS SOBRINOS Y DEMAS FAMILIARES como un ejemplo.

A TODOS MIS AMIGOS Y COMPANEROS.

Ramón Arturo

DEDICATORIA

TRABAJO QUE DEDICO:

A DIOS TODOPODEROSO

Por ser siempre mi guía y permitirme alcanzar el coronamiento de una carrera profesional.

A MIS AMADOS PADRES

Juan Angel y Zoila Blanca, en especial a ella con todo el amor que se merece por su comprensión y sacrificio.

A MIS ABUELITAS

Rumilda Concepción Lazo (Q.D.D.G.) y Cornelia Romero que desde mi infancia estuvieron acompañando mis pasos con gran ternura de estudiante.

A MI ESPOSA

Marta Cecilia, con todo mi amor y cariño, por su comprensión y apoyo para el logro de este triunfo.

A MIS HIJOS

Juan José y Jennifer Cecilia, a quienes amo y que son la razón principal para todas mis metas.

A MI HERMANA

Virna Lisi, que con su amor contribuyó siempre en mi superación.

A MIS SOBRINOS

Luigi Josue, Lisi y Virna como un ejemplo para su futura formación.

A MIS TIOS, PRIMOS Y DEMAS FAMILIA

En especial a Rafael Rosa y Teresa Romero por considerarlos como mis segundos padres.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

Por compartir este gran triunfo

A TODOS ELLOS, va dedicado mi triunfo.

Juan José

INDICE

1. CAPITULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 Antecedentes del concreto ligero	1
1.2 Estudios realizados acerca del concreto ligero de pómez en El Salvador	3
1.3 Planteamiento del problema	-8
1.4 Objetivos y alcances	9
1.4.1 Objetivo general	9
1.4.2 Objetivos específicos	10
1.4.3 Alcances	11
1.5 La prefabricación como alternativa de solución	11
2. CAPITULO II. NOCIONES ACERCA DEL CONCRETO LIGERO	14
2.1 Propiedades del concreto ligero	14
2.2 Tipos de concreto ligero	19
2.2.1 Concreto sin finos	20
2.2.2 Concreto aireado	22
2.2.3 Concreto con agregado de peso ligero	22
2.3 Concreto ligero de pómez	26
2.3.1 Características del concreto ligero de pómez	28
3. CAPITULO III. PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO (POMEZ) PARA EL DISEÑO Y ENSAYO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO LIGERO	33
3.1 Revisión y actualización de normas	33

3.2 Ubicación del banco de material	33
3.3 Pruebas de agregados	35
3.3.1 Granulometría	38
3.3.2 Peso volumétrico	54
3.3.3 Gravedad específica	58
3.3.4 Absorción	61
3.3.5 Contenido de humedad	62
3.4 Equipo (Análisis teórico)	63
3.5 Procedimiento para el diseño de mezclas	69
3.6 Elaboración y ensayo a la compresión de cilindros de prueba	73
3.7 Análisis de resultados	86
4. CAPITULO IV. DISEÑO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS	90
4.1 Etapas de análisis	90
4.2 Propiedades mecánicas de los elementos	91
4.2.1 Concreto	91
4.2.1.1 Relación A/C	91
4.2.1.2 Compactación	91
4.2.1.3 Curado	93
4.2.2 Dimensiones	94
4.2.3 Refuerzo	96
4.2.3.1 Cuantía	96
4.2.3.2 Distribución	111
4.2.4 Ensayo de loseta de prueba	112
4.2.4.1 Flexión	112
4.3 Interpretación de resultados	113

5. CAPITULO V. CONSEJOS PRACTICOS PARA EL USO DE LAS LOSETAS	
5.1 Manejo	124
5.2 Curado	125
5.3 Almacenamiento	127
5.4 Transporte	128
5.5 Montaje	130
5.6 ANALISIS ECONOMICO DE LOS ELEMENTOS	133
5.6.1 CALCULO DE COSTO A NIVEL INDUSTRIAL	133
5.6.2 CALCULO DE COSTO POR AYUDA MUTUA	136
6. CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
6.1 Conclusiones sobre el concreto ligero de pómez	138
6.1.1 Propiedades del agregado	138
6.1.1.1 Peso volumétrico	138
6.1.1.2 Granulometría	138
6.1.1.3 Gravedad específica	139
6.1.1.4 Absorción	140
6.2 Diseño de mezclas de concreto	140
6.2.1 Métodos de diseño	140
6.2.1.1 Condición de humedad de los agregados	141
6.2.1.2 Proporcionamiento del aditivo Sikament	141
6.2.1.3 Métodos de compactación	142
6.3 Propiedades mecánicas	143
6.3.1 Resistencia a la compresión de los cilindros de prueba	143
6.3.2 Resistencia a la flexión de los elementos prefabricados	144
6.3.2.1 Zona de colado y moldes	144
6.3.2.2 Colocación del refuerzo	145
6.3.2.3 Ensayo de flexión	146

6.4 Conclusión General	147
BIBLIOGRAFIA	149
ANEXOS	

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 ANTECEDENTES DEL CONCRETO LIGERO

1.1.1 ORIGENES Y PRIMERAS UTILIZACIONES

El término concreto se refiere a una "mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso y agua". A diferencia del concreto normal, el concreto ligero posee cavidades llenas de aire en su interior, lo cual lo hace considerablemente de menor densidad; ventaja que le permite ser utilizado en construcciones en las cuales se requiere disminuir peso y por consiguiente reducir costos de la estructura.

Las cavidades llenas de aire o inclusión de vacíos en la mezcla se puede lograr de tres formas diferentes:

La primera es con la extracción de los agregados finos de la mezcla la cual al llegar a la etapa de concreto endurecido presenta una estructura similar a la imperfección dejada por el mal compactado del concreto normal conocida en nuestro medio como "colmena"¹. A este tipo de concreto se le conoce como "concreto sin finos".

1/Colmena o Alveolado: ocurre cuando el mortero no llena el espacio entre las partículas de agregado grueso ocasionado por mal empleo de vibradores o por pasta insuficiente para llenar los vacíos entre las partículas.

La segunda es a través de la utilización de agregados de peso ligero que incluyen vacíos en su interior y pueden ser naturales no procesados y procesados o artificiales, conocido con el nombre de "concreto con agregados de peso ligero".

La tercera se logra con la inclusión de aire por medio de reacciones químicas o por agentes productores de espuma que se le agregan a la mezcla; conocido como "concreto aireado".

El concreto ligero se ha vuelto más conocido en los últimos años pero no representa un material nuevo para la construcción; las investigaciones dirigidas hacia el conocimiento de su origen; indican que en el techo del Panteón de Roma en el siglo II D. C. se utilizó una especie de concreto elaborado con agregado ligero de pómez; luego el uso del concreto ligero se extendió a diferentes países del mundo volviéndose de aceptación general, empleando diversos tipos de agregados y descubriendo otros que suplirían la escasez ocasionada por la demanda de un solo tipo de agregado. En países como Suecia, se produjo por primera vez concreto aireado y posteriormente se le incluyó acero de refuerzo en su interior.

En Estados Unidos la primera aplicación experimental del concreto ligero reforzado fue en la "construcción de barcos durante la segunda guerra mundial y de esta forma ahorraron acero y otros materiales escasos".²

²/Fuente: CONCRETO LIGERO, Cálculo, Fabricación, Diseño y Aplicaciones. Andrew Short.

1.2 ESTUDIOS REALIZADOS ACERCA DEL CONCRETO LIGERO DE POMEZ EN EL SALVADOR

La piedra pómez es un material de origen volcánico, que existe en abundancia en nuestro país y constituye un elemento con gran potencial de explotación para elaborar concreto ligero.

Los resultados satisfactorios obtenidos en otros países con este tipo de concreto, motivó a que se desarrollara en nuestro medio una serie de estudios encaminados a promover el empleo de este material en la industria de la construcción. Para tal objeto se seleccionaba un determinado yacimiento de pómez y se procedía a realizarles los distintos ensayos especificados por las normas tales como: Gravedad específica y absorción (ASTM C-127 y ASTM C-128), granulometría (ASTM C-330), peso volumétrico (ASTM C-29), etc. Con los resultados obtenidos en estos ensayos se diseñaban mezclas de prueba para determinar su resistencia a la compresión y tensión.

En el transcurso de estos estudios, que iniciaron en 1969; se han investigado los bancos siguientes: Cantón Valle Alegre, El Molino, Llano El Espino, Coatepeque, Ilopango, San Marcos, Mariona, La Periquera, la Esperanza y finca El Limón.

Es de hacer notar que la resistencia a la compresión y tensión obtenida en la mayoría de las investigaciones no fueron

del todo satisfactorias debido principalmente a que estos estudios estaban orientados a utilizar el agregado con su granulometría natural. A pesar que los ensayos granulométricos mostraban que el material no cumplía con la especificación ASTM C-330, esta nunca se corrigió.

Es importante hacer notar que si la granulometría del material cumple con lo especificado por la Norma ASTM C-330 producirá un concreto trabajable, económico y de buena resistencia. Sin embargo, si no se cumple con los límites establecidos se producirá un concreto que requiere más consumo de pasta volviéndolo más caro y menos trabajable.

Una mayor proporción de agregado grueso que exista en la mezcla disminuye la trabajabilidad, ya que el contacto entre las partículas gruesas origina fuerzas de fricción debido a la textura rugosa de las mismas; en cambio, con proporciones de agregados adecuadas los huecos existentes entre los agregados gruesos son ocupados por sub-tamaños finos y cemento lo que separa las superficies de los agregados gruesos y actúa como agente deslizando al momento de hacer la revoltura.

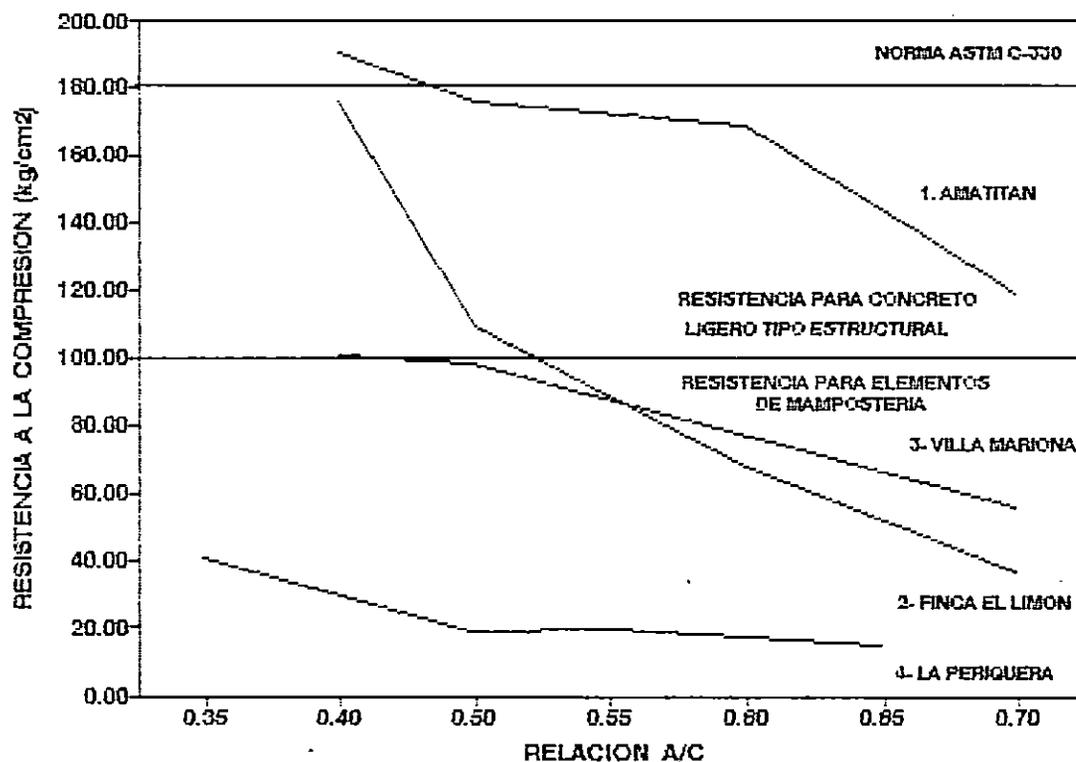
Fue hasta el año de 1986, con el Trabajo de Graduación de "Paneles de Concreto Ligero para Divisiones", donde se estudió el yacimiento de La Esperanza y se pretendió darle un uso específico al concreto ligero de pómez, que se consideró

necesario obtener una buena resistencia del concreto y para lograr esto, se cumplió con los requerimientos de las normas, ajustando la granulometría del material, dosificando y compactando el concreto en forma adecuada, con lo que se logró la trabajabilidad, resistencia y reproductibilidad de resultados esperados.

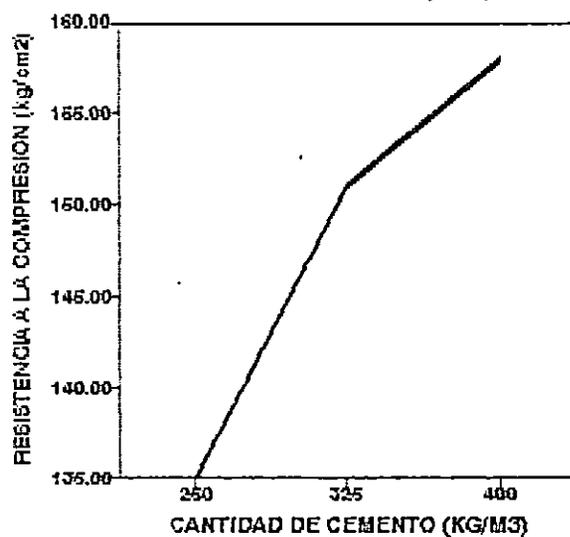
Los estudios se continuaron en 1993 y fueron dirigidos hacia la fabricación de bloques, investigando material de la finca El Limón en Santa Ana, se utilizó un tamaño máximo de agregado de 3/8", sin embargo, se volvió a caer en el mismo error de los estudios anteriores al de 1986 en los que no se corrigió la granulometría del agregado para elaborar las mezclas de concreto, por lo que no se alcanzaron los objetivos buscados.

Para efectos de comparación, se presenta un gráfico que muestra la resistencia del concreto ligero de pómez a los 28 días de edad y una tabla comparativa de propiedades obtenidas de los diferentes estudios realizados en nuestro país.

GRAFICA COMPARATIVA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS DEL CONCRETO LIGERO HECHO CON AGREGADO POMEZ DE DIFERENTES BANCOS²



GRAFICA RESISTENCIA A LA COMPRESION BANCO LA ESPERANZA (1986)



2.1/FUENTE: ELABORACION DE BLOQUES DE CONCRETO LIGERO DE POMEZ PARA VIVIENDAS DE BAJO COSTO, Miguel Angel Anaya Rivera y Otros, TESIS ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL, 1993

BANCO	VALLE ALEGRE		LLANO EL ESPINO		EL MOLINO		ILOPANGO		COATEPEQUE		MARIONA		LA PERIQUERA		LA ESPERANZA		EL LIMON	
NOMBRE TESIS	TECNOLOGIA DEL CONCRETO TOMO III. CONCRETO LIVIANO DE POMEZ		TECNOLOGIA DEL CONCRETO TOMO III. CONCRETO LIVIANO DE POMEZ		TECNOLOGIA DEL CONCRETO TOMO III. CONCRETO LIVIANO DE POMEZ		ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE CONCRETO LIVIANO DE POMEZ		ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE CONCRETO LIVIANO DE POMEZ		ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE CONCRETO LIVIANO DE POMEZ		ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE CONCRETO LIVIANO DE POMEZ		PAÑUELOS DE CONCRETO LIGERO PARA DIVISIONES		ELABORACION DE BLOQUES DE CONCRETO LIGERO DE POMEZ...	
UBICACION	SAN MIGUEL		AHUACHAPAN		SANTA ANA		SAN SALVADOR.		SANTA ANA		SAN SALVADOR.		SANTA ANA		SAN SALVADOR.		SANTA ANA	
AGREGADO PROPIEDAD	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA	ARENA	GRAVA
TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO	*	1"	*	1"	*	1"	*	1 1/2"	*	1 1/2"	*	1"	*	1 1/4"	*	*	4.76	9.53
MODULO FINURA	*	4.22	*	4.44	*	3.97	2.41	7.16	3.76	7.17	3.98	6.43	3.47	6.42	3.10	6.33	3.76	7.03
ABSORCION (%)	55	75	74	84	22	44	23	33	38	62	28	53	51	81	36.7	37.21	46.16	53.66
TIEMP ABS (HRS)	72	72	72	72	72	72	48	72	48	72	48	65	48	48	72	72	72	72
GRAV. ESPECIFICA	1.38	1.13	1.37	1.18	1.61	1.09	1.86	1.15	1.54	1.08	1.80	1.34	1.61	1.33	1.93	1.16	1.61	1.21
PESO VOL(KG/M3)	629	414	588	411	551	393	985	501	678	502	957	487	644	440	697	426	633	466
CLASIFICACION SUCS	*	*	*	*	*	*	SP	GP	SP	GP	SP	GW	SP	GP	SP	GP	SP	GP
PROPORCION DE LA MEZCLA	A/C 0.45		A/C 0.65		A/C 0.30		A/C 0.40		A/C 0.40		A/C 0.40		A/C 0.35		CANT. CEMENTO 400KG/M3		PROPORC. VOLUM 1 : 5	
EDAD (DIAS)	28		28		28		28		28		28		28		28		28	
MAX. RESIST. A COMP. (KG/CM ²)	89.40		39.50		43.60		187.36		173.34		102.08		43.19		158.78		47.02	
AÑO DE ESTUDIO	1970		1970		1970		1978		1978		1978		1978		1986		1993	
OBSERVACIONES	GRANULOMETRIA SIN CORREGIR BAJA TRABAJABILIDAD PRUEBA DE TRABAJABILIDAD POR REVENIMIENTO		GRANULOMETRIA SIN CORREGIR BAJA TRABAJABILIDAD PRUEBA DE TRABAJABILIDAD POR REVENIMIENTO		GRANULOMETRIA SIN CORREGIR BAJA TRABAJABILIDAD PRUEBA DE TRABAJABILIDAD POR REVENIMIENTO		GRANULOMETRIA SIN CORREGIR BAJA TRABAJABILIDAD PRUEBA DE TRABAJABILIDAD POR REVENIMIENTO		GRANULOMETRIA SIN CORREGIR BAJA TRABAJABILIDAD PRUEBA DE TRABAJABILIDAD POR REVENIMIENTO		GRANULOMETRIA SIN CORREGIR BAJA TRABAJABILIDAD PRUEBA DE TRABAJABILIDAD POR REVENIMIENTO		GRANULOMETRIA SIN CORREGIR BAJA TRABAJABILIDAD PRUEBA DE TRABAJABILIDAD POR REVENIMIENTO		SE REALIZO AJUSTE EN GRANULOMETRIA TRABAJABILIDAD ACEPTABLE Y PROBADA POR ESPERA DE KELLY USARON MESA VIBRATORIA PARA COMPACTAR CONCRETO		GRANULOMETRIA NO CORREGIDA MEZCLA DISEÑADA CON REVENIMIENTO NULO	

* = NO HAY REGISTRO SP = ARENA MAL GRADUADA GP = GRAVA MAL GRADUADA GW = GRAVA BIEN GRADUADA

PROPIEDADES OBTENIDAS A TRAVES DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS A LOS DIFERENTES YACIMIENTOS DE POMEZ DE NUESTRO PAIS

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Salvador es un país que se caracteriza por su alta densidad poblacional y su alto porcentaje de demanda habitacional no satisfecho, siendo este un problema que afecta al desarrollo de las adecuadas condiciones de vida en el país. Dos son las causas que tienden a agravar este problema: el alto costo de las viviendas y el bajo nivel de ingresos de los habitantes.

Al momento se han implementado diversas alternativas para tratar de solucionar o al menos aliviar el problema de la vivienda, tales como:

- a) Ayuda mutua
- b) Uso de materiales tradicionales "mejorados", tales como adobe, bahareque, etc.
- c) Bancos de materiales

Sin haber alcanzado al momento mayor éxito, pues unos han sido rechazados y los otros han fracasado al no lograrse el aprovechamiento de la capacidad de trabajo marginal de las comunidades.

Habiendo quedado como alternativa el desarrollo de materiales novedosos que posean cualidades estructurales y

ambientales adecuadas al proyecto, que reduzcan los costos y faciliten la implementación de sistemas prefabricados o semiprefabricados reduciendo la necesidad de mano de obra especializada.

1.4 OBJETIVOS Y ALCANCES

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Utilizar la piedra pómez como agregado de peso ligero en la fabricación de elementos prefabricados, para que estos puedan ser usados en la construcción de viviendas.

Diseñar y construir losetas prefabricadas de concreto ligero utilizando piedra pómez como agregado variando la relación agua-cemento, espesor de losetas, diámetro y separación del acero de refuerzo consistente en estructomalla y varillas lisas.

Determinar las propiedades mecánicas y de comportamiento del material y las losetas, basados en los diferentes ensayos exigidos por las normas internacionales que garanticen la calidad del producto elaborado, a saber: compresión en cilindros de concreto, absorción, tensión, granulometría de los agregados y flexión en losetas.

Investigar las metodologías que intervienen en la fabricación; tales como: dosificación, mezclado, transporte,

colocación, compactación y curado.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

-Por efectos de manejabilidad de las losetas, serán fabricadas con dimensiones de 1.20 m de largo por 0.60 m de ancho como medidas máximas.

-El espesor con el que se efectuará el diseño de losetas será de 5 y 7 cm.

-Utilizar como tamaño máximo de agregado el de 3/4".

-Diseñar el concreto con relaciones agua-cemento de 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60.

-Efectuar un mínimo de ocho muestras de cilindros de concreto por relación agua-cemento especificadas para determinar las distintas propiedades del concreto.

-Diseñar un molde fijado al piso previamente nivelado y pulido con cemento, fácil de manejar y que permita desmoldar sin dañar las losetas.

-La compactación de las losetas se hará mediante el uso de regla vibratoria.

1.4.3 ALCANCES

El proyecto comprende la investigación de los parámetros que intervienen en el Diseño de Losetas Prefabricadas a base de concreto ligero con refuerzo integral, elaborado específicamente con piedra pómez.

El estudio incluye la verificación de las propiedades del agregado, ajuste granulométrico, diseño de la mezcla de concreto ligero, ensayos de cilindros, fabricación del molde, elaboración de losetas y pruebas de flexión en las losetas.

El refuerzo a utilizar consistirá en varillas de 1/4" y estructomalla, con el objeto de determinar el que sea más funcional y económico.

1.5 LA PREFABRICACION COMO ALTERNATIVA DE SOLUCION

La prefabricación puede ser total o parcial, la primera consiste en elaborar en una fábrica, los componentes de una vivienda de tal manera que el trabajo en el sitio de la obra se reduzca exclusivamente al ensamblaje de cada uno de dichos elementos,³ en nuestro medio hay prefabricación parcial.

³/Fuente: Tesis "Estudio de Prefabricados existentes y su aplicación práctica en la demanda de la vivienda".

En la actualidad el valor de la vivienda ha venido incrementándose cada vez más, razón por la cual se necesita disponer de métodos constructivos eficaces, que permitan disminuir costos, reducir tiempos de construcción, sin descuidar la seguridad y la calidad en las edificaciones.

Se puede pensar en la utilización de elementos prefabricados de concreto ligero de pómez como un método de construcción rápido porque es un sistema donde las piezas de poco peso permiten que sean ensambladas sin la utilización de maquinaria. Con el uso de elementos prefabricados se puede tener un mayor control de calidad en cuanto a las piezas que son ensambladas detectándose fácilmente un ajuste inadecuado de dichos elementos.

Los elementos prefabricados de concreto ligero son producidos de tal manera que sus dimensiones estarán sujetas a los diferentes tipos de estructuras que se planeen realizar. Al pensar en los prefabricados se puede tomar en cuenta que es un sistema de construcción rápido ya que el trabajo se reduce al ensamblaje de piezas, razón por la que la utilización de mano de obra calificada se ve disminuida considerablemente.

El concreto ligero posee propiedades acústicas y térmicas, por lo que al utilizarlo en la fabricación de losetas para vivienda se puede obtener privacidad ya que los componentes del concreto ligero absorben el sonido, y debido a la baja densidad del concreto ligero existe un alto aislamiento térmico; siendo

ésta, una característica muy importante especialmente en países de clima tropical.

Por esta razón en el presente estudio se propone el concreto de pómez con refuerzo integrado para la elaboración de losetas prefabricadas como una alternativa de solución al problema habitacional, por tratarse de un material novedoso y abundante en nuestro país que hasta la fecha no ha sido objeto de explotación.

CAPITULO II

NOCIONES ACERCA DEL CONCRETO LIGERO

2.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO LIGERO

Las propiedades de los agregados componentes del concreto tienen una notable influencia en las propiedades del concreto ligero ya que estos generalmente ocupan hasta las tres cuartas partes del volumen del mismo.

Entre las propiedades más importantes del concreto ligero se pueden mencionar:

- a) Mecánicas
- b) Acústicas
- c) Impermeabilidad
- d) Durabilidad
- e) Aislamiento Térmico

a) MECANICAS

a.1 Resistencia a la Compresión

Se refiere a la capacidad que tiene el concreto endurecido para soportar los esfuerzos inducidos por las cargas a la que es sometido y se define en función del esfuerzo máximo o de ruptura.

Para una determinada edad y bajo condiciones de curado a humedad y temperatura establecida, la resistencia del concreto

dependerá de dos factores:

- a) Relación A/C
- b) Grado de Compactación.

Sin embargo, la resistencia del concreto puede verse afectada por otros factores, como son:

- * Relación agregado/cemento
- * Granulometría.
- * Textura superficial forma, resistencia y rigidez del agregado.
- * Tamaño máximo del agregado.

a.2 Adherencia al Acero de Refuerzo

Dado que el concreto en la mayoría de sus aplicaciones se usa reforzado con acero, la magnitud de la adherencia entre los dos materiales es de mucha importancia.

La adherencia se produce principalmente por fricción y esta puede verse afectada por la contracción del concreto en relación con el acero; teniendo que ver, no sólo con las propiedades del concreto sino también con las propiedades mecánicas del acero, las características físicas de su superficie y su posición en el miembro de concreto.

El aumento de los esfuerzos de contacto producidos por las cargas ocasiona naturalmente un deslizamiento entre el acero y el concreto.

La magnitud de la adherencia entre el concreto y el acero es principalmente función de la resistencia a la compresión⁴. Los concretos de peso normal y los ligeros de igual resistencia a la compresión tienen adherencias comparables.

b) ACUSTICAS

Son dos las características que se deben considerar al analizar esta propiedad.

La primera se refiere al aislamiento acústico que está directamente relacionado con la vibración que un elemento puede efectuar, transmitiendo un menor sonido un elemento que se considera pesado y rígido; como los hechos de concreto normal. Esta característica es producto del sonido causado por impacto, razón por la que el concreto ligero no es capaz de aislar el sonido debido a su bajo peso con respecto al concreto normal.

La segunda es la absorción del sonido. Los materiales que absorben el sonido reducen la reflexión del sonido de una superficie, mientras que los materiales que aíslan el sonido reducen el sonido que pasa a través de ellos. Esta característica es para sonido que circula a través del aire y no para absorber sonido causado por impacto. El sonido es una forma de energía que se convierte en calor, que al entrar en contacto con el aire

⁴/Fuente: CONCRETO LIGERO, Cálculo, Fabricación, Diseño y Aplicaciones. Andrew Short.

contenido en los huecos del concreto ligero se disipa porque el aire es mal conductor del calor, ventaja que no presentan los elementos de concreto normal pero si los de concreto ligero los cuales tienen una absorción de sonido moderadamente buena.

c) IMPERMEABILIDAD

Esta característica, al igual que en el concreto normal, no depende del tipo de agregado y de la porosidad interna del concreto, sino que depende de la calidad de pasta que se utilice en el acabado superficial y de la calidad de mano de obra empleada para darle el acabado al elemento.

d) DURABILIDAD

Es la capacidad de un material de soportar los ataques químicos, físicos y mecánicos generados por los agentes que lo rodean.

El ataque químico se da cuando el concreto entra en contacto con sulfatos, contenidos en aguas freáticas contaminadas, con los escurrimientos de líquidos reactivos; u otros agentes. La porosidad del concreto lo vuelve más vulnerable que el concreto normal ante estos ataques.

El ataque físico puede ser ocasionado por ciclos sucesivos de congelación y deshielo, por contracción por secado o esfuerzos de temperatura. Las variaciones de temperatura muy

grandes provocan que el concreto falle o se produzcan agrietamientos por la contracción por secado; sin embargo, el concreto ligero por estar hecho de un material poroso permite mayores libertades, ya que la contracción por secado hecho y curado a temperaturas normales es generalmente 30% mayor que la del concreto normal y en algunos casos la diferencia llega a ser muy pequeña o no existe, como el caso del concreto ligero de alta resistencia (493-630 Kg/m²)² que tiene aproximadamente la misma contracción que el concreto normal.

El agregado ligero expuesto es menos resistente que el agregado normal cuando son sometidos a la abrasión o desgaste, por esta razón, en estas condiciones, el concreto utilizado debe ser recubierto adecuadamente por una capa de mortero, sin embargo, no se recomienda el empleo del mismo para superficies que estén expuestas al desgaste.

e) AISLANTE TERMICO

El valor del aislante térmico está determinado como la conductividad térmica que se refiere a la cantidad de calor que atraviesa un material por un metro de espesor y un metro cuadrado de superficie en una hora con una diferencia de temperatura unitaria entre las dos caras opuestas del elemento analizado.

²/Fuente: PANELES DE CONCRETO LIGERO PARA DIVISIONES. Larios Cerón y Otros. TESIS, Escuela de Ingeniería Civil, FIA (1986)

Este valor es inversamente proporcional a la densidad, volviéndose mayor cuando la densidad del material disminuye o menor cuando la densidad del material aumenta. Estas variaciones son debidas a la porosidad de los materiales y las cavidades llenas de aire; siendo el aire un mal conductor del calor.

Se puede decir que el concreto ligero posee mejores propiedades aislantes que el concreto normal, ya que este tipo de concreto está compuesto por cavidades en su interior que son formadas por agregados alveolares o inclusiones de aire.

2.2 TIPOS DE CONCRETO LIGERO

El concreto ligero es aquel que posee un peso volumétrico notablemente menor que el concreto de peso normal, característica que se obtiene con la inclusión de vacíos en la mezcla que se puede lograr de tres formas genéricas:

- 1- Extracción del agregado fino de la mezcla.
- 2- Sustituyendo los agregados pétreos de una mezcla de concreto normal por agregados ligeros naturales o artificiales los cuales incluyen vacíos en su interior.
- 3- Inclusión de aire en una mezcla de mortero por medio de reacciones químicas o espumas preformadas.

Lo anterior permite clasificar al concreto ligero en tres tipos (ver Tabla II.1, en esta página): Concreto sin finos, concreto con agregados ligeros y concreto aireado respectivamente; sin embargo, se puede obtener otros tipos de concreto haciendo combinaciones; por ejemplo: se puede tener un concreto sin finos cuyo agregado sea de peso ligero, al igual que un concreto aireado que contenga agregado celular.*

TABLA II.1
TIPOS DE CONCRETO LIGERO

TIPOS		CLASES DE AGREGADOS		
CONCRETO SIN FINOS		GRAVAS, PIEDRA TRITURADA, ESCORIA GRUESA DE HULLA, CENIZAS SINTERIZADAS DE COMBUSTIBLES EN POLVO, ARCILLAS O ESQUISTOS EXPANDIDOS, PIZARRAS EXPANDIDAS, ESCORIAS ESPUMOSAS		
CONCRETO CON AGREGADOS DE PESO LIGERO		AGREGADOS NO PROCESADOS	POMEZ, LAVA VOLCANICA, PUMECITA, VIDRIO VESICULAR	
		AGREGADOS PROCESADOS	AGREGADOS NATURALES PROCESADOS	ESQUISTOS EXPANDIDOS, ARCILLA EXPANDIDA, VERMICULITA EXFOLIADA, PERLITA EXPANDIDA, PIZARRAS EXPANDIDAS
			AGREGADOS NO NATURALES PROCESADOS	ESCORIA ESPUMOSA, CENIZAS DE ALTOS HORNOS EXPANDIDA, POLYESTIRENO (DURAPAX)
CONCRETO AIREADO	AIREACION QUIMICA	METODO DEL POLVO DE ALUMINIO, METODO DEL PEROXIDO DE HIDROGENO Y CLORURO DE CAL		
	MEZCLAS ESPUMOSAS	ESPUMA PREFORMADA, ESPUMA PRODUCIDA POR LA INCLUSION DE AIRE		

2.2.1 CONCRETO SIN FINOS

El concreto sin finos se refiere a un concreto hecho de

*Fuente: Concreto Ligero, Cálculo, fabricación, diseño y aplicaciones. Andrew Short y William Kinniburgh.

cemento Portland y agregado grueso normal o ligero solamente y el producto que se forma de esa manera contiene muchos huecos uniformemente distribuidos en su masa.

El concreto sin finos posee características de resistencia a la compresión que depende del agregado que se utilice y principalmente de la cantidad de pasta utilizado que origina un incremento en su resistencia al igual que el concreto normal.

Este tipo de concreto es muy sensible al contenido de agua ocasionándoles deshidratación o segregación de la pasta de cemento; el primer caso se da cuando la cantidad de agua es insuficiente originando un concreto desgranable⁷, y el segundo cuando hay demasiada agua porque ocasiona que la pasta se escurra del agregado o se lave.

La contracción por secado de un concreto sin finos es menor que la de un concreto normal permitiendo la utilización de este en construcciones sin juntas de construcción. La estructura celular le proporciona un aislamiento acústico producido por la alta absorción del sonido que poseen los materiales con huecos en su interior, sin embargo, la existencia de huecos no ocasiona problemas de penetración de humedad al concreto sin finos.

⁷/Concreto desgranable se da cuando la partícula no está cubierta de mortero y origina falta de adherencia entre las partículas. "Concreto Ligero", Tesis. Ernesto Rodríguez Rivas. 1969. pág. 9

Para la elaboración de concreto sin finos se recomienda que el agregado esté saturado y escurrido, en especial si el agregado es alveolar, mezclándose este con el cemento y luego con el agua durante un tiempo mayor que el ocupado por el concreto normal.

2.2.2 CONCRETO AIREADO

Se le conoce comunmente con el nombre de "concreto celular", y no es más que una mezcla hecha con cemento Portland, agregado fino y agua el cual al ser mezclado con otros elementos produce cavidades en su estructura interna que están llenas de aire.

Esto se puede lograr por medio de aireación química o la utilización de mezclas espumosas. El primero consiste en la formación de vacíos dentro de la mezcla con la utilización de polvo de aluminio el cual entra en contacto con el cemento originando reacciones químicas durante el estado plástico del concreto. El segundo se logra mezclando el agua con agentes espumógenos de la que se obtiene una espuma preformada que se le agrega al cemento y al agregado, o por medio de emulsiones inclusoras de aire.

2.2.3 CONCRETO CON AGREGADOS DE PESO LIGERO

Es un concreto hecho con cemento Portland, agregado grueso, agregado fino ambos con cavidades, y agua, los vacíos que se obtienen en la mezcla son los vacíos del agregado.

El término "Concreto con agregados de peso ligero: se había asociado casi exclusivamente a un material de carácter poroso, no compactado, usado principalmente para elementos sin carga.

Investigaciones realizadas al respecto hicieron posible que se utilice ya sea en productos prefabricados o en elementos que son colados en el sitio de construcción, que requieren diferentes resistencias de acuerdo a la Tabla II.2:

TABLA II.2

UTILIZACION	PESO VOLUMETRICO	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²) Edad 28 días
Paredes de relleno	650 - 800	30 - 45
Elementos Estructurales	1400 - 1900	140 - 210

Fuente: Estudio experimental sobre concreto liviano de pómez. Tesis. José Alvaro León M. 1979.

La resistencia del concreto hecho con agregados de peso ligero depende no sólo de la resistencia inherente de agregado, sino también del grado de compactación, que a su vez depende de la forma y graduación del agregado.

Se dice a veces que un agregado fragmentado es capaz de dar una mayor resistencia al concreto; pero que un material redondeado da mejor trabajabilidad, lo cual a veces conduce

indirectamente a un concreto más resistente, sólo si se le permite tener una menor relación A/C.

Sin embargo la experiencia práctica parece indicar que es la forma de la fracción fina y su graduación las que influyen en la trabajabilidad de la mezcla, y los finos que se obtienen de los llamados agregados redondos pueden ser tan ásperos e irregulares como los de un agregado fragmentado.

Una graduación cuidadosa y una buena compactación puede producir un concreto de resistencia aceptable y densidad moderada. En efecto, la resistencia que se espera de una mezcla depende en gran parte de la graduación, de la relación A/C y del grado de compactación.

AGREGADOS LIGEROS	AGREGADOS NO PROCESADOS	
	AGREGADOS PROCESADOS	AGREGADOS NATURALES PROCESADOS
		AGREGADOS NO NATURALES PROCESADOS

AGREGADOS NO PROCESADOS

Se refiere al tipo de agregado que proviene de la naturaleza y que no necesita ser sometido a procesos de modificación de su estructura para considerársele como "agregado ligero", se caracterizan generalmente por ser de origen volcánico, siendo los más utilizados la piedra pómez, lava o escoria volcánica, pumecita y vidrio vesicular.

AGREGADOS PROCESADOS

Son los que necesitan de tratamientos, previos a su utilización como agregado ligero mediante el sometimiento a procesos que modifican la estructura interna o son los que provienen de subproductos industriales. Lo primero se logra a través de la utilización de procesos de expansión, calcinación o sinterización de agregados naturales que provocan en la estructura interna la formación de cavidades que se llenan de aire volviéndolo ligero y modifican la apariencia exterior del agregado siendo los principales: las pizarras, arcillas, perlitas, vermiculita, etc. que al pasar por dichos procesos y enfriarse conservan la forma expandida, a las cuales se les da el nombre de **Agregados naturales procesados**. El segundo se obtiene de los residuos que quedan de las fundiciones realizadas en los altos hornos donde se funde el óxido de hierro y forman corrientes derretidas que al salir del horno son enfriadas por cantidades controladas de agua ocasionando que se formen poros en su interior lo cual las hace suficientemente ligeras y se le conoce como escoria espumosa o escoria expandida y están contenidas dentro del tipo de **Agregados no naturales procesados**.

La textura áspera de los agregados ligeros provoca fuerzas de fricción entre cada partícula componente del concreto cuando se efectúa la revoltura, siendo necesario algunas veces la utilización de aditivos para mejorar la trabajabilidad.

Al igual que el concreto sin finos, para la elaboración del

concreto, es recomendable que el agregado esté en condición presaturada⁹ ya que esto permite que el agregado no absorba el agua de la pasta, evitando de esta forma que pierda su plasticidad, minimizando las variaciones.

Si el agregado no se presatura ocasionará una segregación al inicio, producto de un exceso de agua en la mezcla, posteriormente se producirá una baja trabajabilidad cuando el agregado haya absorbido el agua necesaria para saturarse.

Si en la realidad los agregados se encuentran secos, deberán mojarse antes de agregar el cemento con una parte del agua requeridos para la mezclas, y dejarlo reposar para que la absorción del agua pueda ocurrir.

2.3 CONCRETO LIGERO DE POMEZ ✓

Este concreto está formado por un agregado ligero natural llamado piedra pómez, la cual presenta vacíos en su interior que la hacen liviana, razón por la que la utilización de este material en el concreto lo ubica dentro de los tipos de concreto con agregados de peso ligero.

La pómez es un material de origen volcánico que es producto

⁹/Esta condición se logra sumergiendo el material en agua por un tiempo de 72 horas (PANELES DE CONCRETO LIGERO PARA DIVISIONES, Larios Cerón y Otros, TESIS, Escuela de Ingeniería Civil, FIA (1986)) luego se coloca en mallas más pequeñas que el tamaño mínimo de agregado presente y se deja escurrir el agua que rodea cada partícula.

del descenso de presión y el rápido enfriamiento de las masas de fusión ácidas con una gran cantidad de gases que adquirió durante la erupción. Se le clasifica como una roca ígnea extrusiva cuya naturaleza es piroclástica.

La densidad de la pómez depende de la intensidad con que los gases y vapores son evacuados, formándose así dos tipos de roca. La primera que es una pómez ligera que se caracteriza por tener poros grandes que están dispuestos como tubos paralelos; originando la variedad fibrosa que fue producto de una intensidad mayor y la segunda que es una roca de clase pesada que se caracteriza por tener poros pequeños y distribuidos uniformemente, que se originó debido a una intensidad moderada.⁹

La pómez se puede encontrar entre colores gris claro hasta tonalidades blancas, tanto en granos finos como gruesos, su textura superficial es rugosa o áspera, con pequeñas celdas interconectadas que se formaron por la fuga de gases cuando aún se encuentra en estado derretido.

El agregado de pómez ha sido empleado en países desarrollados (EE.UU., Gran Bretaña, Alemania, entre otros) para elaborar concreto ligero, utilizándose este en la fabricación

⁹/Fuente: "Paneles de concreto ligero para divisiones". Tesis. José Humberto Larios Cerón y otros. Escuela de Ingeniería Civil. Junio de 1986.

de piezas ligeras, resistente y de fácil manejo; lo que ha hecho posible la construcción de piezas prefabricadas de mayores dimensiones que las del concreto normal. Además con una adecuada granulometría y dosificación se pueden obtener concretos ligeros que sobrepasen la resistencia a la compresión de 145 kg/cm^2 .¹⁰

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO LIGERO DE POMEZ

La piedra pómez posee una serie de propiedades que ha sido posible apreciar a través de estudios llevados a cabo anteriormente.

Dentro de estas propiedades se pueden mencionar su bajo peso y su composición química. El poco peso que posee es su principal propiedad, lo que define su uso para elaborar "concreto ligero", extendiendo su aplicación a diversos elementos de la construcción. En cuanto a su composición química, la pómez constituye un silicato hidratado de alúmina y álcalis teniendo un alto contenido de ácido silícico capaz de reaccionar con la cal libre del cemento, con lo que el grano de pómez adquiere propiedades cementantes que contribuyen al proceso de fraguado cuando está envuelto en la pasta, ayudando de esta forma a obtener elevadas resistencias a la compresión.

Su textura rugosa se convierte en algunos casos en una

¹⁰/FUENTE: "PANELES DE CONCRETO LIGERO PARA DIVISIONES", José Humberto Larios Cerón y Otros, TESIS, Escuela de Ingeniería Civil, FIA (1986).

ventaja al facilitar el acabado ornamental de las superficies, pero también posee una gran absorción que demanda especial cuidado en el control del agua de mezclado.

Experiencias tenidas en estudios anteriores (ver tabla pág. 7) hacen mención del bajo revenimiento y poca trabajabilidad del concreto de pómez, sin embargo, esto puede ser ventajoso si se utiliza en la fabricación de elementos que son desencofrados instantáneamente, tal es el caso de bloques huecos. También se sabe que para una misma resistencia a la compresión, este agregado ligero requiere una mayor cantidad de pasta a la que se usaría si se tratara de un concreto de peso normal.

Como ya se dijo, los primeros estudios realizados con este tipo de concreto ligero no fueron muy halagadores, pero con el afán de dar un aporte al problema habitacional que sufre nuestro país estos estudios se han continuado; ahora se dispone del diseño de una mezcla trabajable y de resistencia aceptable la cual fue posible obtener al ajustarse a las especificaciones de la ASTM para concreto ligero.

A continuación, se describen algunas características que se deben tomar muy en cuenta en la ejecución del proyecto:

A) AJUSTE GRANULOMETRICO

Una curva granulométrica muestra la distribución en tamaños

de las partículas componentes del material y el rango para el porcentaje de material que pasa por cada malla lo determina la Norma ASTM C-330, el procedimiento para realizar este ensayo se describe en la norma ASTM C-136.

Si los agregados no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y presentan una curva granulométrica que esté dentro de los límites establecidos, producen buenos resultados en el concreto; si por el contrario la curva presentada por el agregado está fuera de los límites normados; ocasiona en el concreto baja trabajabilidad, porosidad y aumento en el costo dado que al aumentar el volumen de los huecos se hace necesario llenarlos con pasta.

En conclusión, si una curva granulométrica determinada mediante los respectivos ensayos está dentro de los límites especificados por ASTM puede perfectamente ser utilizado; si la curva está fuera de estos límites la granulometría del material deberá ser corregida.

B) TRABAJABILIDAD

Depende principalmente de la granulometría de los agregados y se define como la facilidad que tiene la mezcla de concreto fresco para ser transportada, colada y acabada sin presentar problemas de segregación y sangrado.

La trabajabilidad que se considere conveniente depende,

generalmente de las dimensiones de las formaletas que se van a colar, de la cantidad y separación del refuerzo y del método de compactación a usarse.

Resulta sensato pensar que para una sección reducida y complicada o con partes inaccesibles se requerirá un concreto más trabajable que permita ser compactado con relativa facilidad.

La prueba del revenimiento ampliamente utilizada en la construcción, no representa una medida exacta de la trabajabilidad en el concreto, más aún en el concreto ligero donde la ligereza de las partículas son menos susceptibles a los efectos de la gravedad, proporcionando medidas no muy confiables. Por esta razón es recomendable utilizar el método de la esfera de Kelly que es independiente del peso de los agregados para medir la trabajabilidad en el concreto ligero como se hará en este estudio.

C) COMPACTACION

Para el concreto ligero de pómez el método de compactación que mejores resultados proporcionó fue utilizando una mesa vibratoria que en comparación con los otros métodos usados anteriormente. (vibrador eléctrico, varillado, pisón de madera) presentó mejor acabado superficial y mayor resistencia a la compresión y tensión.

También fue posible determinar mediante observaciones a la mezcla respecto a segregación, sangrado y aire atrapado que el tiempo de vibrado más recomendable es de 10 seg. por capa.¹⁰

En el presente estudio se tomará muy en cuenta esta recomendación dado que se pretende usar una regla vibratoria para compactar el concreto de las losetas.

CAPITULO III

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO (POMEZ) PARA EL DISEÑO Y ENSAYO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO LIGERO

3.1 REVISION Y ACTUALIZACION DE NORMAS

En esta etapa se efectúa una revisión y actualización de las Normas ASTM relacionadas con el concreto ligero y con los diferentes ensayos a realizar a especímenes de prueba hechos con concreto ligero de pómez. Se han colocado las normas en forma de anexo al final de este documento.

3.2 UBICACION DEL BANCO DE MATERIAL

En este estudio se optó por utilizar la pómez del yacimiento que se encuentra en la Finca El Limón, Santa Ana, por poseer las siguientes cualidades.

UBICACION: Se encuentra a la altura del Km. 52, Carretera Panamericana (San Salvador - Santa Ana) cercano a la población de El Congo, Departamento de Santa Ana (ver plano de ubicación en página siguiente). Colinda al Norte con la Ciudad de Coatepeque; al Sur con la población de El Congo; al Oriente con el Cantón y Caserío Aldea de La Cruz y al Poniente con la Finca San Nicolás.



PLANO DE UBICACION DEL BANCO DE MATERIAL

ACCESIBILIDAD: El acceso hasta la Finca El Limón es en todo su recorrido sobre carretera pavimentada, lo que facilita llegar al lugar para la extracción y transporte de material. Existe sobre la capa de pómez una capa de material orgánico, siendo esto ventajoso pues indica que el material no se ha expuesto a la intemperie encontrándose entonces partículas limpias aptas para fabricar concreto.

VOLUMEN DE EXPLOTACION: De acuerdo al estudio realizado por la Misión Geológica Alemana, el yacimiento de la Finca El Limón posee una extensión de 110,000 metros cuadrados con un volumen aprovechable de 400,000 metros cúbicos aproximadamente con espesores de capas hasta 7.0 metros. Su estado es semisuelto obteniendo muestras con facilidad pues no hay material ligante. A la fecha (1995) este material es utilizado únicamente como "cascajo " en la construcción.

3.3 PRUEBAS DE AGREGADOS

Los agregados se definen como aquellos materiales que se prestan a ser ligados por una matriz para formar una masa aglomerada, ó bien aquellos materiales que al mezclarse con agua y cemento en proporciones determinadas forman lo que se conoce como concreto.

El término agregados incluye las arenas, gravas de mina y

gravas trituradas normales que se usan para la elaboración de morteros y concretos. Asimismo, comprende los materiales de peso ligero como la escoria, la pómez y otros. Sin embargo, no incluye la piedra o la arena finamente pulverizada que se suelen usar en combinación con el cemento, ya que para esos materiales es más adecuado el nombre de aditivos o rellenos.

La cualidad más significativa de los agregados es la firmeza. Un concreto puede carecer de firmeza, aunque esté elaborado con agregados firmes, cuando no se proporciona, maneja y deposita adecuadamente.

También son importantes, en cualquier agregado, la limpieza, la resistencia y granulometría. Para casi todos los fines, el agregado debe estar libre de arcillas, limo, materia orgánica y sales.

GRAVAS

Se define como el material que es retenido en una malla No. 4 (4.75 mm).

La norma ASTM C-125 define la grava como:

- 1) El agregado grueso resultante de la desintegración y abrasión naturales de la roca o del procesamiento de conglomerados debidamente ligados;
- 2) La porción de un agregado que no pasa a través de una malla No. 4.

La primera definición se aplica a un agregado entero, ya sea en condición natural o después del procesamiento, la segunda sólo a una porción del aglomerado.

ARENA

El agregado fino es el material que sí pasa por la criba No. 4. Por lo general, estos materiales se clasifican de modo bastante uniformes desde la criba No. 4 hasta la No. 100. A menos que se indique otra cosa, el agregado fino suele ser la arena, el producto de la desintegración y abrasión natural de la roca o del procesamiento de una arenisca completamente deleznable.

La arena que se utiliza para elaborar concreto debe contener cantidades insignificantes de arcilla, carbón mineral o cualquier materia que pase por la malla No. 200.

Todas las partículas de agregado proceden de una masa mayor, que puede haberse fragmentado por procesos naturales de intemperismo y abrasión o mediante la trituración artificial. Por lo tanto, muchas de las propiedades del agregado dependen de las propiedades de la roca original¹¹ tal es el caso de las propiedades químicas, la composición mineral, la densidad, la dureza, la resistencia, el color, etc. Por otra parte, otras propiedades corresponden al agregado en sí, y no a la roca

¹¹/Fuente: TECNOLOGIA DEL CONCRETO Tomo I. A. M. Neville.

original, tales como forma y tamaño de las partículas, absorción, textura superficial. Todas estas propiedades ejercen gran influencia en la calidad del concreto ya sea fresco o endurecido.

Por lo tanto, las pruebas del agregado ayudan a evaluar si será adecuado para el concreto.

En este estudio las propiedades físicas determinadas para los agregados fueron:

GRANULOMETRIA

PESO VOLUMETRICO

GRAVEDAD ESPECIFICA

ABSORCION

Realizando estos ensayos conforme lo estipulan las normas de la ASTM para cada caso.

3.3.1 GRANULOMETRIA

Es la distribución en peso en que se encuentran las partículas de distintos tamaños de un material expresados en porcentajes del peso total de la muestra.

ANALISIS GRANULOMETRICO

*Es la operación de dividir una muestra de agregado en

fracciones, cada una compuesta por partículas del mismo tamaño". En la práctica cada fracción contiene partículas de distinto tamaño dentro de límites específicos, los cuales están determinados por las aberturas de mallas experimentales estándar de abertura cuadrada.

Las mallas estándar usadas para determinar la graduación de las arenas son: N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100; y para las gravas son: 6", 3", 1½", ¾", ½", ⅜" más una N° 4.

El diagrama de granulometría muestra la distribución en tamaños del agregado; pudiendo determinarse si la muestra se conforma a las especificaciones, si es demasiada gruesa o fina o si tiene deficiencia en algún tamaño en particular.

Existen varias razones para especificar límites en la granulometría y el tamaño máximo del agregado. La granulometría y el tamaño máximo afectan las proporciones relativas de los agregados, así como el cemento y el agua necesarios, la trabajabilidad, la economía, la porosidad y la contracción del concreto¹²

La granulometría de los agregados de peso ligero para conceto deben cumplir con los requisitos de las normas ASTM C-

¹²/FUENTE: PANELES DE CONCRETO LIGERO PARA DIVISIONES, José Humberto Larios Cerón y Otros, TESIS, Escuela de Ingeniería Civil, FIA (1986).

330, C-331, C-332; según su aplicación (concreto estructural, para unidades de mampostería o concreto ligero aislante).

MODULO DE FINURA

Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las tamices estándar N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100 divididos entre 100.

El módulo de finura representa un índice del tamaño de la mayoría de las partículas de un agregado; entre más alto es su valor, más grueso es el agregado. Asimismo es una indicación de; comportamiento probable de una mezcla elaborada con agregado de una determinada granulometría.¹³

De acuerdo al módulo de finura que presentan las arenas, estas se clasifican de la siguiente forma:

**TABLA No. III.1
CLASIFICACION DE LA ARENA ATENDIENDO SU MODULO DE FINURA**

MODULO DE FINURA	TIPO DE ARENA
< 2.0	muy fina
2.0 - 2.3	fina
2.3 - 2.6	medio fina
2.6 - 2.9	media
2.9 - 3.2	media gruesa
3.2 - 3.5	gruesa
> 3.5	muy gruesa

¹³/FUENTE: "Tecnología del Concreto", Neville

Se considera que una arena es aceptable para elaborar concreto cuando su módulo de finura está comprendido entre los límites siguientes:

$$2.3 \leq M_f < 3.2$$

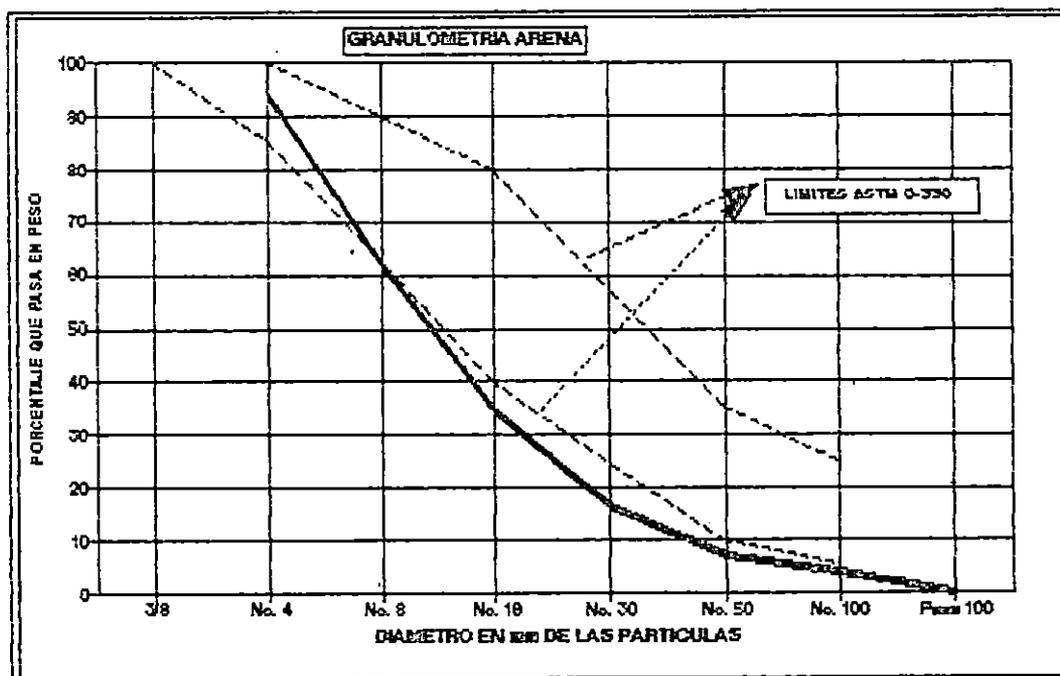
Los diagramas granulométricos que se muestran a continuación fueron elaborados siguiendo el procedimiento descrito en la Norma ASTM C-330. Para ello se obtuvieron muestras del material del banco, previamente tamizada por una malla de 3/4", dado que este es el tamaño máximo de agregado que establece el ACI 318-89¹⁴, para el tipo de elemento que se fabricará. En el laboratorio se tomó una muestra y se pasó por una malla No. 4 para separar gruesos de finos y obtener una curva granulométrica para cada uno de ellos; se tomó otra muestra del material extraído del banco y se obtuvo una curva granulométrica para arena y grava combinada.

Se puede observar en estos diagramas que conforme a lo que establece la norma ASTM C-330:

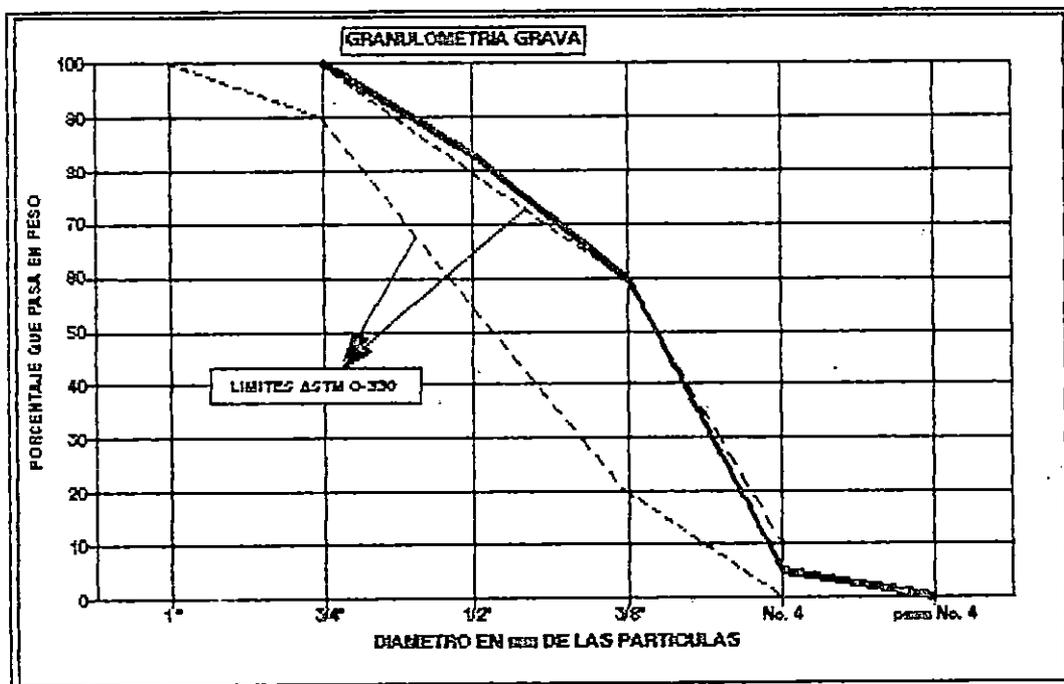
- La arena de pómez obtenida del material que pasa por la malla No. 4 NO CUMPLE.
- La grava de pómez tamizada por la malla de 3/4" y retenida por la malla No. 4 NO CUMPLE.
- El material de banco en conjunto tamizado por la malla de 3/4", NO CUMPLE.

¹⁴/Sección 3.3 Agregados

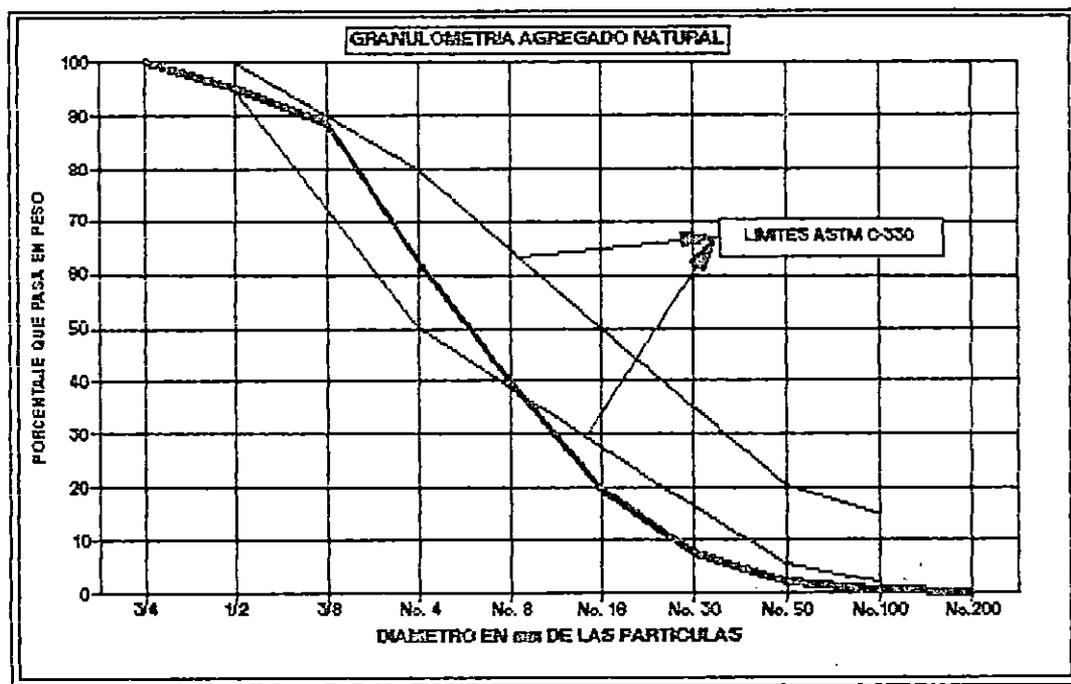
ANALISIS GRANULOMETRICO				
PESO BRUTO: 530.1 GRS		TARA: 128.2	PESO NETO: 403.9	
MATERIAL: ARENA DE POMEZ				
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3/8				
No. 4	23.8	5.9	5.9	94.1
No. 8	131.2	32.5	38.4	61.6
No. 16	109.5	27.1	65.5	34.5
No. 30	72.5	18.0	83.4	16.6
No. 50	38.2	9.5	92.9	7.1
No. 100	12.5	3.1	96.0	4.0
Pasa 100	16.2	4.0	100.0	0.0



ANALISIS GRANULOMETRICO				
PESO BRUTO : 6,021.8		TARA : 125.0		PESO NETO : 5,896.8
MATERIAL: GRAVA DE POMEZ				
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
1"				
3/4"	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	1,013.5	17.2	17.2	82.8
3/8"	1,346.8	22.8	40.0	60.0
No. 4	3,253.2	55.2	95.2	4.8
pasa No. 4	283.5	4.8	100.0	0.0
SUMAS	5,896.8	100.0		



ANALISIS GRANULOMETRICO				
PESO BRUTO: 6,805.8		TARA: 165.0		PESO NETO: 6,440.8
MATERIAL: AGREGADO NATURAL				
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL GRS	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
3/4	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2	302.8	4.7	4.7	95.3
3/8	432.9	6.7	11.4	88.6
No. 4	1,880.1	26.1	37.5	62.5
No. 8	1,468.9	22.6	60.3	39.7
No. 16	1,306.8	20.3	80.6	19.4
No. 30	768.2	11.9	92.6	7.4
No. 50	357.1	5.5	98.1	1.9
No.100	84.2	1.3	99.4	0.6
No.200	38.1	0.6	100.0	0.0



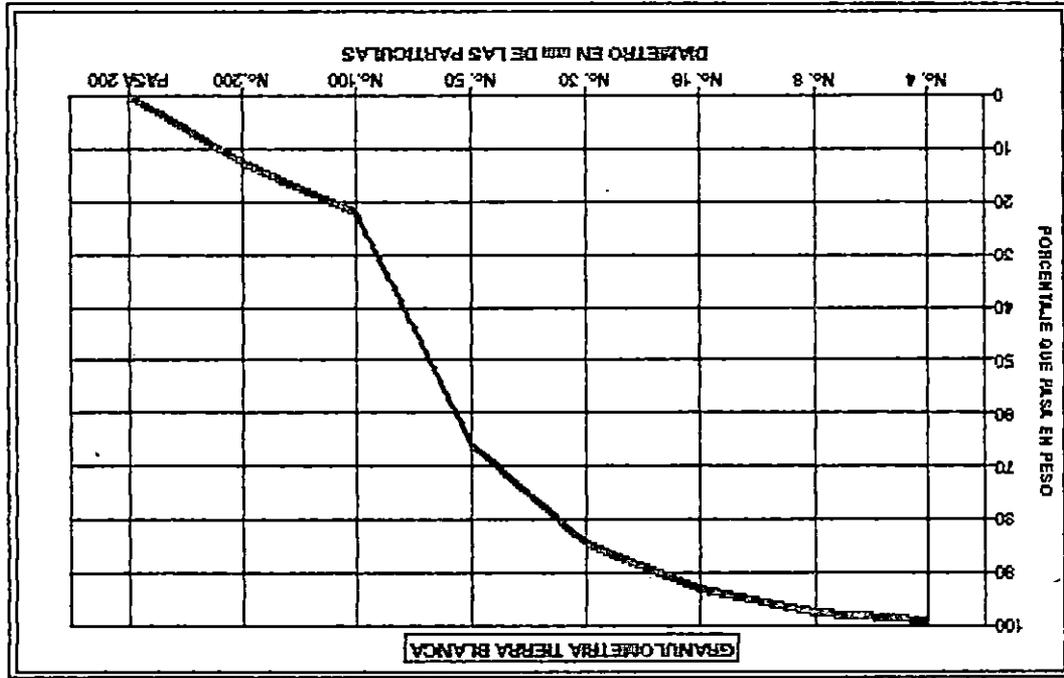
De este último gráfico se puede observar que la curva tiende a salirse de los límites de la Norma a partir de la malla No. 8 quedando entonces toda la parte correspondiente a los finos fuera del límite inferior. Esto indica que el material en conjunto (grava y arena) posee una deficiencia de finos.

En vista de lo anterior se hace necesario efectuar la corrección granulométrica del material en conjunto para lo cual se procede de la siguiente manera:

- 1) Se tamiza una muestra del material del banco por la malla de 3/4" con el objeto de obtener el tamaño máximo de agregado a usar.
- 2) Se tamiza una porción de la muestra por la malla No. 4 para obtener arena.
- 3) Como el material presenta deficiencia de finos se utiliza tierra blanca para compensar esta deficiencia, extrayendo este material del banco de San Marcos, que tiene las propiedades siguientes:

Peso volumétrico	= 1022.75 kg/m ³	(Ver Anexo No. 7)
Gravedad Específica	= 2.144	(Ver Anexo No. 6)
- 4) Se realizó el análisis granulométrico para cada uno de los materiales.

El gráfico granulométrico de la tierra blanca se muestra a continuación:



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MATERIAL: TIERRA BLANCA					
PESO BRUTO: 712.8 GRS					
TARA: 125.0					
PESO NETO: 587.8					
MALLA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	% QUE PASA LA MALLA
No. 4	4.5	0.8	0.8	0.8	99.2
No. 8	11.5	2.0	2.0	2.7	97.3
No. 16	25.1	4.3	4.3	7.0	93.0
No. 30	49.8	8.4	8.4	15.4	84.6
No. 50	109.1	18.6	18.6	34.0	66.0
No. 100	258.1	43.9	43.9	77.9	22.1
No. 200	57.5	9.8	9.8	87.7	12.3
PASA 200	72.4	12.3	12.3	100.0	0.0

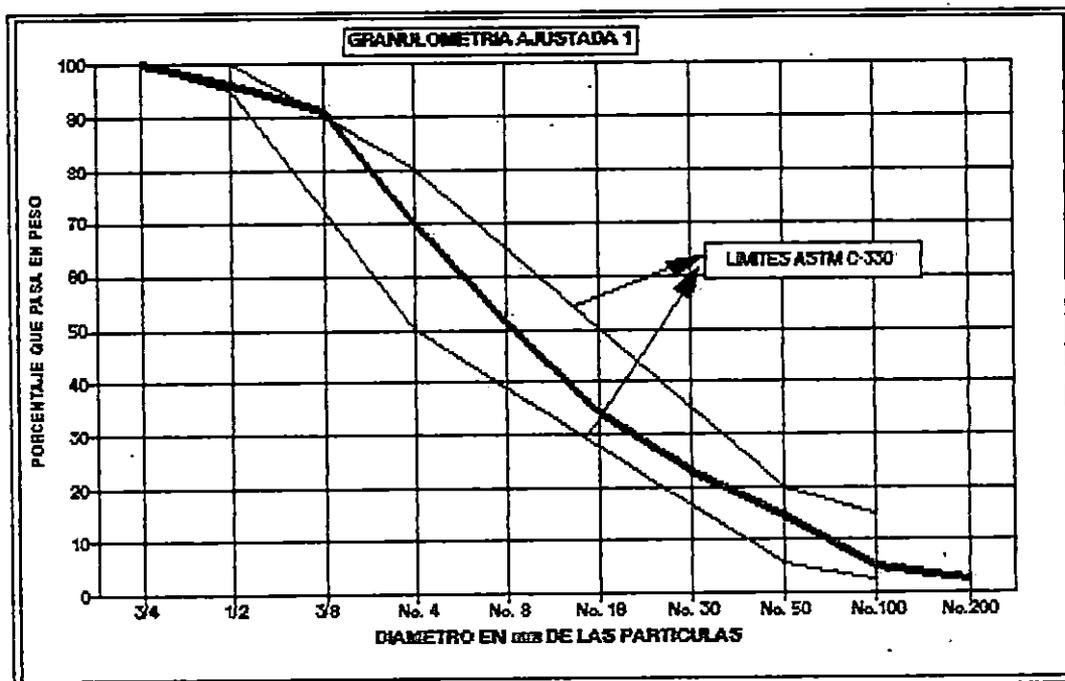
5) Se hizo una combinación teórica con estas tres curvas granulométricas, para determinar el porcentaje de finos que compensarían la deficiencia existente, se variaron de 5 en 5 por ciento los materiales constituyentes utilizando una hoja de gráficos electrónica.

Tomando como base los límites establecidos por las normas y por lo observado en los gráficos, se seleccionan las gráficas cuyas curvas queden dentro de los límites establecidos los cuales corresponden a las combinaciones siguientes:

GRANULOMETRIA	PORCENTAJE ARENA	PORCENTAJE SUELO	PORCENTAJE NATURAL
1	10	15	75
2	5	20	75
3	0	25	75
4	5	15	80
5	0	20	80

Las gráficas de las combinaciones granulométricas anteriores se muestran a continuación:

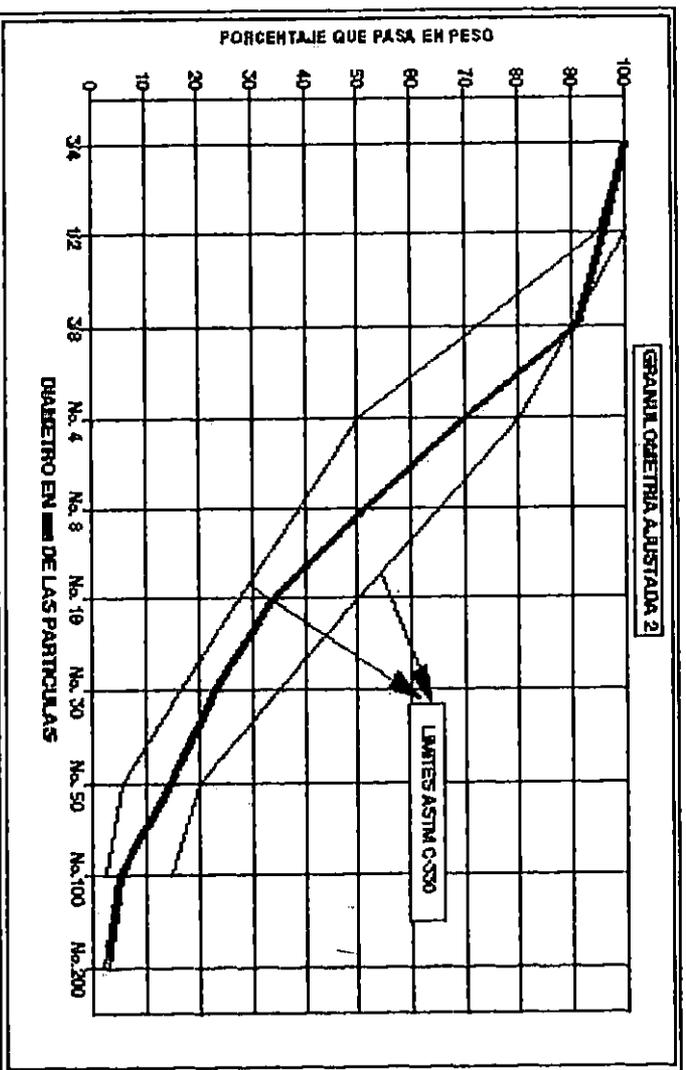
ANALISIS GRANULOMETRICO							
GRANULOMETRIA AJUSTADA No. 1							
MALLA	GRANULO NATURAL	ARENA	TIERRA BLANC	GRAN NAT 75%	ARENA 10%	T.B. 15%	TOTAL
3/4	100.0	100.0	100.0	75.0	10.0	15.0	100.0
1/2	95.3	100.0	100.0	71.5	10.0	15.0	96.5
3/8	88.6	100.0	100.0	66.4	10.0	15.0	91.4
No. 4	62.5	94.1	99.2	46.9	9.4	14.9	71.2
No. 8	39.7	61.6	97.3	29.8	6.2	14.6	50.5
No. 16	19.4	34.5	93.0	14.5	3.5	14.0	31.9
No. 30	7.4	16.6	84.6	5.6	1.7	12.7	19.9
No. 50	1.9	7.1	66.0	1.4	0.7	9.9	12.0
No.100	0.6	4.0	22.1	0.4	0.4	3.3	4.2
No.200	0.0	0.0	12.3	0.0	0.0	1.8	1.8



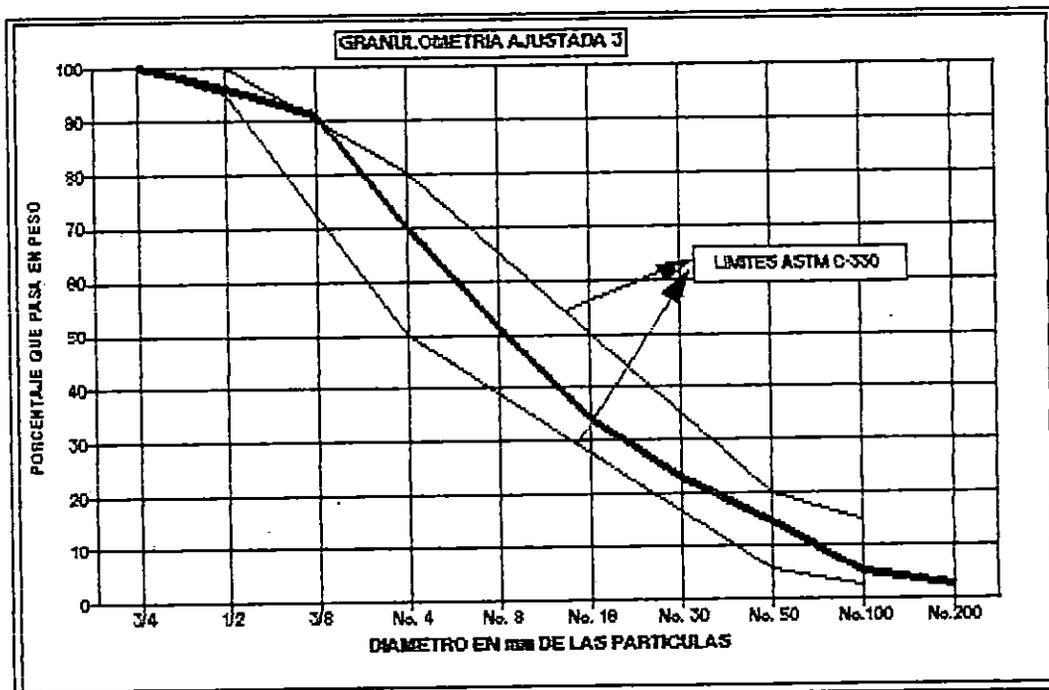
ANALISIS GRANULOMETRICO

GRANULOMETRIA AJUSTADA NO. 2

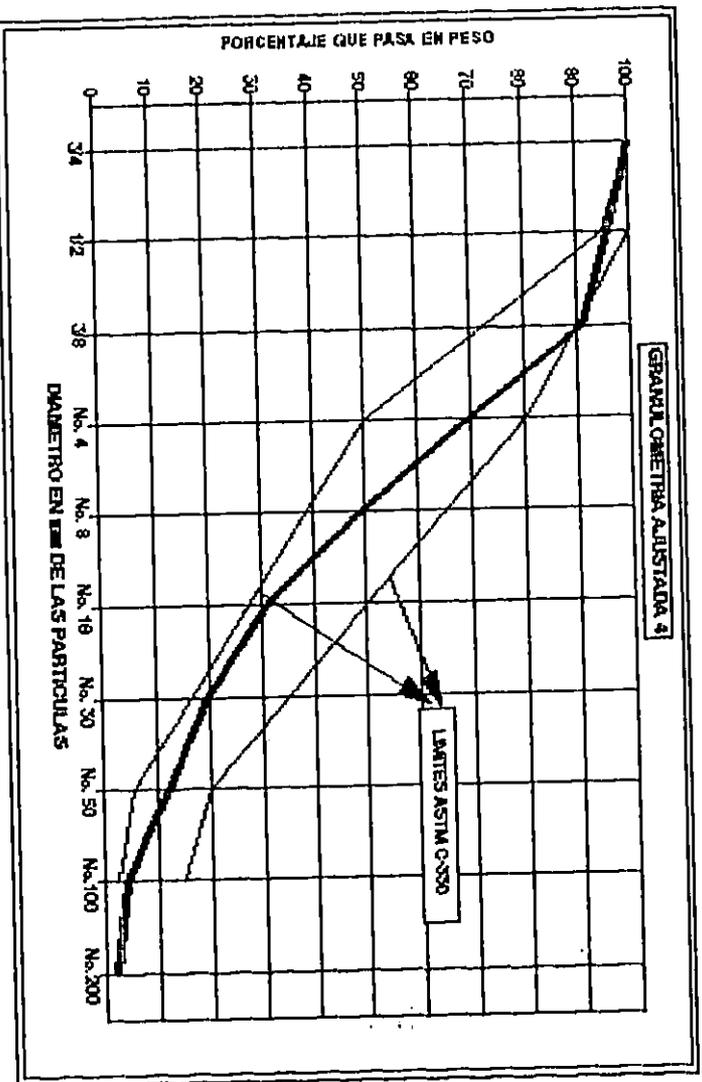
MALLA	GRANULO NATURAL	ARENA	TIERRA BLANC	GRAN NAT 75%	ARENA 5%	T.B. 20%	TOTAL
3/4	100.0	100.0	100.0	75.0	5.0	20.0	100.0
1/2	95.3	100.0	100.0	71.5	5.0	20.0	96.5
3/8	88.8	100.0	100.0	68.4	5.0	20.0	91.4
No. 4	82.5	94.1	89.2	48.9	4.7	19.8	71.4
No. 8	39.7	61.6	97.3	29.8	3.1	19.5	52.3
No. 16	19.4	34.5	93.0	14.5	1.7	18.6	34.8
No. 30	7.4	16.6	84.6	5.6	0.8	16.9	23.3
No. 50	1.9	7.1	68.0	1.4	0.4	13.2	15.0
No.100	0.6	4.0	22.1	0.4	0.2	4.4	5.1
No.200	0.0	0.0	12.3	0.0	0.0	2.5	2.5



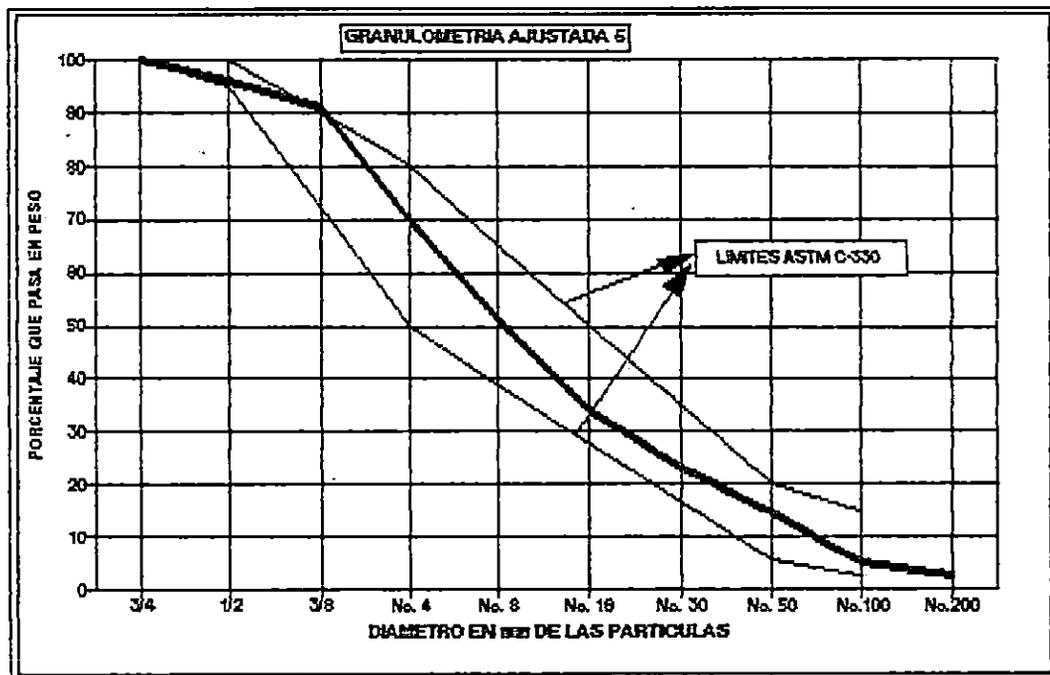
ANALISIS GRANULOMETRICO							
GRANULOMETRIA AJUSTADA No. 3							
MALLA	GRANULO NATURAL	ARENA	TIERRA BLANC	GRAN NAT 75%	ARENA 0%	T.B. 25%	TOTAL
3/4	100.0	100.0	100.0	75.0	0.0	25.0	100.0
1/2	95.3	100.0	100.0	71.5	0.0	25.0	96.5
3/8	88.6	100.0	100.0	66.4	0.0	25.0	91.4
No. 4	62.5	94.1	99.2	46.8	0.0	24.8	71.7
No. 8	39.7	61.6	97.3	29.8	0.0	24.3	54.1
No. 16	19.4	34.5	93.0	14.5	0.0	23.3	37.8
No. 30	7.4	18.6	84.6	5.6	0.0	21.2	26.7
No. 50	1.9	7.1	66.0	1.4	0.0	16.5	17.9
No.100	0.6	4.0	22.1	0.4	0.0	5.5	6.0
No.200	0.0	0.0	12.3	0.0	0.0	3.1	3.1



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO									
GRANULOMETRÍA AJUSTADA No. 4									
MALLA	GRANULO NATURAL	ARENA	TIERRA BLANC	GRAN NAT 80%	ARENA 5%	T.B. 15%	TOTAL		
3/4	100.0	100.0	100.0	80.0	5.0	15.0	100.0		
1/2	95.3	100.0	100.0	76.2	5.0	15.0	96.2		
3/8	88.6	100.0	100.0	70.9	5.0	15.0	90.9		
No. 4	62.5	94.1	99.2	50.0	4.7	14.9	89.8		
No. 8	39.7	61.6	97.3	31.8	3.1	14.8	49.4		
No. 16	19.4	34.5	93.0	15.5	1.7	14.0	31.2		
No. 30	7.4	16.6	84.6	8.0	0.8	12.7	19.5		
No. 50	1.9	7.1	68.0	1.5	0.4	9.9	11.8		
No. 100	0.6	4.0	22.1	0.5	0.2	3.3	4.0		
No. 200	0.0	0.0	12.3	0.0	0.0	1.8	1.8		



ANALISIS GRANULOMETRICO							
GRANULOMETRIA AJUSTADA No. 5							
MALLA	GRANULO NATURAL	ARENA	TIERRA BLANC	GRAN NAT 80%	ARENA 0%	T.B. 20%	TOTAL
3/4	100.0	100.0	100.0	80.0	0.0	20.0	100.0
1/2	95.3	100.0	100.0	76.2	0.0	20.0	96.2
3/8	88.6	100.0	100.0	70.9	0.0	20.0	90.9
No. 4	62.5	94.1	99.2	50.0	0.0	19.8	69.8
No. 8	39.7	61.6	97.3	31.8	0.0	19.5	51.2
No. 16	19.4	34.5	83.0	15.5	0.0	18.6	34.1
No. 30	7.4	16.6	84.6	6.0	0.0	16.9	22.9
No. 50	1.9	7.1	66.0	1.5	0.0	13.2	14.7
No.100	0.6	4.0	22.1	0.5	0.0	4.4	4.9
No.200	0.0	0.0	12.3	0.0	0.0	2.5	2.5



De estas curvas granulométricas la No. 4 y la No. 5 son las que más se acercan a una curva granulométrica ideal, es decir, que los porcentajes de material que pasan las mallas están cercanos al promedio de los límites que especifica la Norma ASTM C-330.

Por lo tanto se optó por utilizar estas dos combinaciones para elaborar concreto variando únicamente los agregados, y a partir del comportamiento observado en las mezclas en su estado fresco y endurecido seleccionar la curva cuyos resultados ofrecieron mayores ventajas.

**CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS Y OBSERVACIONES
HECHAS A LAS MEZCLAS DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS**

OBSERVACION	MEZCLA CON CURVA No. 4	MEZCLA CON CURVA No. 5
-Dosificación	Más lento, tendencia a error al pesar los dos materiales adicionados	Sólo se pesa un material adicionado (tierra blanca)
-Trabajabilidad	Se observó textura rugosa, con concentración de gruesos. Mezcla poco trabajable y de apariencia segregada	Presentó una textura más fina, resultó más trabajable y de mejor apariencia.
-Peso volumétrico seco	1265.41 kg/m ³	1328.13 kg/m ³
-Resistencia a los 7 días	84.35 kg/cm ²	83.30 kg/cm ²

Como podrá observarse en el cuadro anterior, la mezcla

hecha con granulometría No. 4 tiene un peso volumétrico menor en un 5% y una mayor resistencia del orden de 1.3 % con respecto a la mezcla hecha con la granulometría No. 5, sin embargo, esta diferencia es poco significativa contra los beneficios en trabajabilidad y textura que presentó la mezcla hecha con la granulometría No. 5.

En base a lo anterior se decidió utilizar la combinación de materiales que produjo la curva granulométrica No. 5 para elaborar las mezclas de prueba. Por otra parte esta curva ofrece ahorro en tiempo y trabajo además de control ya que el ajuste del material sólo involucra un 20% de tierra blanca como material fino adicionado.

3.3.2 PESO VOLUMETRICO

Se define como la relación entre el peso seco del material y el volumen que éste ocupa, tomándose en cuenta los vacíos del material así como también las oquedades entre las partículas al medirlo.

Según el sistema de unidades que se use, sus unidades son Kg/m³ ó lb/pie³.

$$\text{Peso volumétrico seco} = \frac{\text{Peso del material seco}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

El peso volumétrico depende del grado de compactación que se le da al gregado, de aquí se deduce que para un determinado material con una cierta densidad, el peso volumétrico dependerá del tamaño, la distribución y la forma de las partículas del agregado. Un peso volumétrico alto significa que hay menos huecos por llenarse con arena y cemento, y la prueba de peso volumétrico tiene que usarse como base para proporcionar las mezclas.

Por lo tanto, para fines de prueba, el grado de compactación debe especificarse, reconociéndose dos grados:

- Peso volumétrico seco suelto: El agregado seco se deposita suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame luego se enrasa y nivela.

- Peso volumétrico seco compactado: Se llena el recipiente en tres etapas, y cada tercio del volumen se apisona con una varilla de 16 mm de diámetro con punta redondeada.

El procedimiento seguido para obtener el peso volumétrico seco de los agregados, se apegó al descrito en la Norma ASTM C-29. En la Norma ASTM C-331, se establecen los límites máximos para el peso unitario de agregados ligeros para elaborar concreto; dichos valores se muestran en la Tabla No. III.2.

Tabla No. III.2
REQUISITOS DE PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS PARA
CONCRETO LIGERO

Designación de tamaño	Peso seco suelto (máximo)	
	lb/pie ³	Kg/m ³
Agregado fino	70	1120
Agregado Grueso	55	880
Agregado fino y grueso combinados	65	1040

En los ensayos de laboratorio se determinó por separado el peso volumétrico para agregado fino (suelo y arena de pómez), agregado grueso y agregado grueso y fino combinados, obteniéndose los resultados siguientes:

TABLA No. III.3
PESO VOLUMETRICO ARENA DE POMEZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
TIPO DE MUESTRA OBTENIDA		: ARENA DE POMEZ	
LUGAR DE EXTRACCION		: BANCO DE LA FINCA EL LIMON	
UBICACION		: JURISDICCION DE COATEPEQUE, SANTA ANA	
ANALISIS FISICO		: PESO VOLUMETRICO	
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (Kg/M3)			
Pvs.1 (Kgs/m ³)	Pvs.2 (Kgs/m ³)	Pvs.3 (Kgs/m ³)	Pvs promedio (Kgs/m ³)
565.56	586.70	554.99	569.08

**TABLA No. III.4
PESO VOLUMETRICO GRAVA DE POMEZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
TIPO DE MUESTRA OBTENIDA		: GRAVA DE POMEZ	
LUGAR DE EXTRACCION		: BANCO DE LA FINCA EL LIMON	
UBICACION		: JURISDICCION DE COATEPEQUE, SANTA ANA	
ANALISIS FISICO		: PESO VOLUMETRICO	
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (Kg/M3)			
Pvs.1 (Kgs/m3)	Pvs.2 (Kgs/m3)	Pvs.3 (Kgs/m3)	Pvs promedio (Kgs/m3)
380.49	386.06	384.67	383.74

**TABLA No. III.5
PESO VOLUMETRICO AGREGADO COMBINADO
(ARENA, GRAVA, TIERRA BLANCA)**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR			
TIPO DE MUESTRA OBTENIDA		: AGREGADO COMBINADO	
LUGAR DE EXTRACCION		: BANCO DE LA FINCA EL LIMON	
UBICACION		: JURISDICCION DE COATEPEQUE, SANTA ANA Y SAN MARCOS	
ANALISIS FISICO		: PESO VOLUMETRICO	
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (Kg/M3)			
Pvs.1 (Kgs/m3)	Pvs.2 (Kgs/m3)	Pvs.3 (Kgs/m3)	Pvs promedio (Kgs/m3)
543.55	567.94	554.70	555.40

Peso volumétrico promedio (Pvp) = 555.40 kgs/m3

% Humedad del material (ceniza volcánica) = 0.45 %

$$\text{Peso Volumétrico corregido} = \frac{\text{Pvp}}{1 + \% \text{Humedad}/100}$$

$$\text{Peso Volumétrico corregido} = \frac{555.40}{1.0045} = 552.91 \text{ KG/m}^3$$

3.3.3 GRAVEDAD ESPECIFICA

Se define como la relación entre el peso de un volumen dado del material (grava o arena), saturado y superficialmente seco, y el peso del mismo volumen de agua destilada a 4 °C de temperatura.

La gravedad específica de los agregados en los diseños de mezclas de concreto se utiliza para determinar el volumen que ocuparán los agregados una vez conocido el peso de los mismos, de acuerdo a la dosificación establecida para la mezcla.

El procedimiento para determinar la gravedad específica de los agregados se establece en las Normas ASTM C-127 para Agregado Grueso y ASTM C-128 para el Agregado Fino.

En este estudio la Gravedad Específica de los agregados se determinó utilizando los siguientes métodos:

AGREGADO GRUESO

Método del Sifón¹⁴

Se emplea la fórmula: $G_{sg} = \frac{W_1}{W_v}$

Donde:

- G_{sg} = Gravedad Específica del Agregado Grueso
- W_1 = Peso de la muestra saturada superficialmente seca.
- W_v = Peso del volumen de agua desplazada.

Y puede describirse así:

14.1/Este método no está especificado en las Normas ASTM.

Sobre una superficie horizontal, se llena el Sifón hasta el punto de rebose para poder calibrarlo lo cual se logra hasta que ya no sale agua por la boquilla del sifón; sin embargo para efectos de laboratorio, se considera calibrado el sifón cuando fluyen de 3 a 5 gotas por minuto.

Seguidamente con mucho cuidado se deposita dentro del sifón la muestra previamente saturada superficialmente seca y en un recipiente graduado se recoge el agua desplazada hasta el mismo intervalo de gotas por minuto cuando se adicionó la muestra.

Los resultados obtenidos para el agregado grueso se muestran a continuación:

TABLA No. III.6
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA GRAVA DE POMEZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
TIPO DE MUESTRA OBTENIDA : GRAVA DE POMEZ		
LUGAR DE EXTRACCION : BANCO DE LA FINCA EL LIMON		
UBICACION : JURISDICCION DE COATEPEQUE, SANTA ANA		
ANALISIS FISICO : GRAVEDAD ESPECIFICA		
GRAVA DE POMEZ		
Wl (grs).	Wv (grs)	Gsg
1126.1	854.7	1.32

AGREGADO FINO

Método del Picnómetro

Fórmula empleada : $G_{sa} = \frac{A}{(B + D - C)}$

Donde:

- Gsa = Gravedad Especifica de la Arena.
 A = Peso de la muestra secada al horno en grs.
 B = Peso del picnómetro con agua en grs.
 C = Peso del picnómetro con la muestra y agua, hasta el punto de calibración.
 D = Peso de la muestra saturada superficialmente, seca, en grs. (usualmente 500 grs).

El método se describe así: Se introduce dentro del picnómetro la muestra del agregado fino en la condición saturada superficialmente seca y se llena luego con agua hasta aproximadamente el 90 % de su capacidad. Se gira y se agita el picnómetro para eliminar las burbujas de aire. En seguida se llena el picnómetro hasta la capacidad calibrada y se determina el peso del picnómetro, más agua, más la muestra.

Utilizando este método se obtuvo el siguiente resultado:

TABLA No. III.7
 GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA ARENA DE POMEZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
TIPO DE MUESTRA OBTENIDA		: ARENA DE POMEZ		
LUGAR DE EXTRACCION		: BANCO DE LA FINCA EL LIMON		
UBICACION		: JURISDICCION DE COATEPEQUE SANTA ANA		
ANALISIS FISICO		: GRAVEDAD ESPECIFICA		
ARENA DE POMEZ				
A (grs)	B (grs)	C (grs)	D (grs)	Gsa
131.5	1512.2	1573.30	200	0.95

3.3.4 ABSORCION

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

La absorción de un material depende de su porosidad y de la intercomunicación de sus poros, por lo que la velocidad de absorción o el tiempo necesario para que se sature varía de un material a otro. El ACI establece que el tiempo de absorción para agregados normales es de 24 horas, tiempo durante el cual se considera al material saturado; para el caso que nos ocupa, se ha logrado determinar, a través de estudios anteriores¹⁵, que la pómez necesita de 72¹ horas para saturarse.

El valor de la absorción en los agregados es muy importante, ya que con este valor se fija la cantidad de agua que debe agregarse a la mezcla de concreto; la cual debe ser suficiente para la hidratación de los aglomerantes y la que absorberán los agregados y evitar de esta manera alterar la relación A/C previamente establecida.

¹⁵/ FUENTE: PANELES DE CONCRETO LIGERO, Larios Cerón y otros, tesis, UES.

**TABLA No. III.8
ABSORCION DE LA ARENA DE POMEZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
TIPO DE MUESTRA OBTENIDA	:	ARENA DE POMEZ
LUGAR DE EXTRACCION	:	BANCO DE LA FINCA EL LIMON
UBICACION	:	JURISDICCION DE COATEPEQUE SANTA ANA
ANALISIS FISICO	:	ABSORCION
ARENA DE POMEZ		
PESO MUESTRA SECA (grs)	PESO MUESTRA SSS(grs)	ABSORCION
131.5	200.00	52.1%

**TABLA No. III.9
ABSORCION DE LA GRAVA DE POMEZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		
TIPO DE MUESTRA OBTENIDA	:	GRAVA DE POMEZ
LUGAR DE EXTRACCION	:	BANCO DE LA FINCA EL LIMON
UBICACION	:	JURISDICCION DE COATEPEQUE SANTA ANA
ANALISIS FISICO	:	ABSORCION
GRAVA DE POMEZ		
PESO MUESTRA SECA (grs)	PESO MUESTRA SSS (grs)	ABSORCION
570.7	960.2	68.25%

3.3.5 CONTENIDO DE HUMEDAD

Se define como la cantidad total de agua que contiene un agregado, en un momento dado, pudiendo ser mayor o menor que el valor de absorción.

sobresaturado, en cuyo caso el agregado cederá parte de esa agua a la mezcla, debiéndose por lo tanto disminuir el agua de mezcla una cantidad igual a la que cederá el agregado para que éste quede en la condición saturada superficialmente seca.

Cuando es menor, se dice que el material está subsaturado. En este caso el material absorberá parte del agua de mezcla siendo necesario entonces, incrementar el agua de mezcla para llevar el agregado a la condición saturada superficialmente seca.

3.4 EQUIPO (ANALISIS TEORICO)

A) REGLA VIBRATORIA

La regla vibratoria es un vibrador de superficie que ejerce la compactación del concreto de arriba hacia abajo. Este vibrador está compuesto de una o más excéntricas montadas sobre una regla metálica o de madera que puede tener longitudes diferentes y es operada por un pequeño motor de gasolina o eléctrico o por medio de vibradores para cimbras eléctricos o de aire.

Se emplea mucho en la construcción de losas prefabricadas en donde la regla metálica o de madera se apoya sobre el borde del molde o sobre rieles adaptados al molde; esto controla la elevación de la regla de manera que trabaje no sólo como compactador sino que también proporcione el acabado final.

La vibración que se produce por las oscilaciones de la regla se transmiten alrededor del elemento vibrador, a través de frecuencias entre 3,000 y 6,000 vibraciones con las que se puede compactar el concreto a la profundidad adecuada.

Retomando estas características en el estudio que se presenta, se utilizará una regla vibratoria construida en el que se ensamblará un motor de gasolina de 4.0 H. P., montado sobre una estructura metálica separado por soportes de hule, al marco metálico se le adaptarán cuarterones en ambos extremos para que deslicen sobre el molde de las losetas.

B) ESFERA DE KELLY

⊙ *Revenimiento*

Esta prueba tiene un fin semejante al del cono de revenimiento pero proporciona un mayor control en lo que respecta a la consistencia del concreto de peso ligero. ⊙

En particular la prueba de la esfera es más sencilla y más rápida de hacer y, lo que es más importante, puede aplicarse al concreto en una carretilla o en la cimbra. A fin de evitar efectos de límites, la profundidad del concreto que se prueba no debe ser menor de 200 mm y la menor dimensión lateral debe ser mayor a 460 mm.

Esta esfera consta de un cilindro de 13.5 ± 0.5 Kg. con el extremo inferior hemisférico y una asa, en el extremo

superior, además un bastidor de guía para el asa, el cual sirve de referencia para medir la profundidad de penetración (ver figura en página siguiente).

CILINDRO HEMISFERICO:

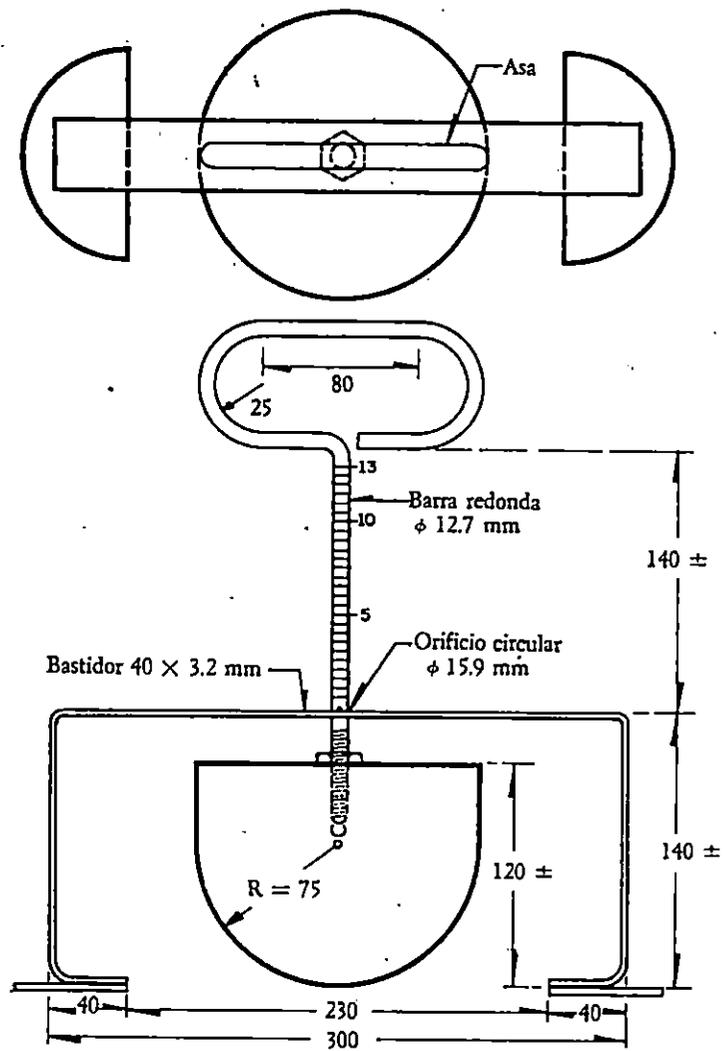
Debe ser aproximadamente de 150 mm de diámetro y 120 mm de alto, con la cara superior perpendicular al eje y el extremo inferior en forma de hemisferio de 75 mm de radio. Este elemento puede fabricarse a máquina o fundirse a condición de que las dimensiones y peso, incluyendo el asa, cumplan con los requisitos mencionados y que el acabado superficial sea liso.

ASA :

Debe ser una barra metálica de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ pul) de diámetro graduado cada 0.5 cm, y cada centímetro numerado. El cero estará a la altura de la cara superior del bastidor cuando el aparato descansa sobre una superficie horizontal salida. En el extremo el asa puede tener forma de T, o de rectángulo cerrado.

BASTIDOR :

Tendrá por lo menos 40 mm de ancho y cada apoyo una área mínima de sustentación de 58 cm², la distancia libre entre apoyos no será menor de 23 cm.



NOTA: Dimensiones en mm.

ESFERA DE KELLY

C) MOLDES CILINDRICOS

Los moldes y sujetadores que estén en contacto con el concreto deben ser de acero, hierro fundido, u otro material no absorbente que no reaccione con el cemento que contenga Cemento Portland u otro cemento hidráulico; además deben cumplir con las dimensiones y tolerancias especificadas en el método de prueba. El cilindro estándar posee las dimensiones de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, y las tolerancias no diferirán en más de 1.5 mm de diámetro y de 6.5 mm en altura con relación a las medidas prescritas. Los moldes metálicos deben estar provistos con placa de base metálica maquinada; si son de otro material deben tener fondo metálico plano y liso, o bien un fondo plano del mismo material que las paredes y monolítico con estas.

En ocasiones se utilizan moldes de cartón que no se pueden volver a usar, y que causan una disminución manifiesta en la resistencia en unos cuantos puntos de porcentaje, lo cual debe atribuirse a la expansión del molde durante el fraguado. Los moldes de papel y metal se describen en la Norma ASTM 570-71T.

Los moldes metálicos se consideran de uso múltiple y pueden fabricarse de tubería de acero sin costura tratada en frío, o de tubo de acero ordinario, dichas secciones tubulares deben cortarse en longitudes adecuadas, abrirse a máquina (según una recta paralela al eje) y sujetarse con un anillo metálico

circular y tornillos o con una serie de dos o tres abrazaderas. Si es necesario los moldes tubulares partidos deben maquinarse interiormente para garantizar que se cumpla con las tolerancias en las dimensiones.

D) MEZCLADORAS DE CONCRETO

El objeto del mezclado consiste en cubrir la superficie de todas las partículas del agregado con pasta de cemento y a partir de todos los ingredientes del concreto hacer una masa uniforme; además, esta uniformidad no debe perturbarse por el proceso de descarga de la mezcladora.¹⁶

Por tanto se puede decir que el método de descarga constituye una de las bases de clasificación de las mezcladoras de concreto encontrándose los siguientes tipos: mezcladora basculante, no basculante y de tambor.

La mezcladora basculante, que fue la utilizada en este estudio, posee una cámara de mezclado, conocida como OLLA, la cual es inclinada para realizarse la descarga, su forma geométrica es cónica o de tazón con espas en la parte interior y la operación de mezclado depende de los detalles del diseño, pero la acción de descarga es siempre buena, ya que el concreto puede sacarse rápidamente como una masa sin segregación tan

¹⁶/Tecnología del Concreto A.M. Neville Tomo-1, pág. 232.

pronto como la olla se inclina. Por esta razón la mezcladora basculante de olla son preferibles para mezclas de baja trabajabilidad.

3.5 PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de una mezcla de concreto puede definirse como el proceso de selección de las cantidades adecuadas de materiales que lo componen, para que una vez fabricado posea tanto en su estado fresco como endurecido características de durabilidad, trabajabilidad, resistencia, etc.

En este estudio se utilizó el método de volumen absoluto para el diseño de las mezclas. El método se basa en la suposición de que la suma de los volúmenes absolutos de los materiales que componen el concreto, es igual al volumen que ocupará el concreto compactado. Es común diseñar las mezclas de concreto para un metro cúbico y considerando que en toda mezcla siempre existe cierto volumen de aire atrapado, se puede expresar la siguiente suma de volúmenes:

$$V_{\text{Grava}} + V_{\text{Arena}} + V_{\text{Cemento}} + V_{\text{Agua}} + V_{\text{aire}} = 1 \text{ m}^3$$

Al ocupar finos y grueso combinado, esta ecuación se transforma así:

$$V_{\text{Agregcom}} + V_{\text{Cemento}} + V_{\text{Agua}} + V_{\text{aire}} = 1 \text{ m}^3$$

El método resulta sencillo requiriendo únicamente que se conozca la Gravedad Específica de cada componente de la mezcla.

En este caso, se está utilizando un agregado combinado compuesto por grava de pómez, arena de pómez y tierra blanca; fue necesario obtener por separado la gravedad específica de cada uno de ellos para luego ser ponderada y obtener la gravedad específica del material combinado obteniéndose así los siguientes valores:

De Anexo No. 6, Tabla No. III.6 y Tabla No. III.7, respectivamente:

Gravedad Específica Tierra Blanca	Getb = 2.144
Gravedad Específica Grava	Geg = 1.32
Gravedad Específica Arena	Gea = 0.95

Después de haber tamizado la pómez por una malla de 3/4 plg, se determinó que en una muestra obtenida por cuarteo, 63.47 % lo compone arena y el restante 36.53 % son gravas. Para efectos de corrección granulométrica se le adiciona un 20 % de tierra blanca, por lo que la ponderación para obtener la gravedad específica del agregado combinado se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Gecom} = \frac{63.47\%(Geg) + 36.53\%(Gea) + 20\%(Getb)}{120\%}$$

$$\text{Gecom} = \frac{63.47*1.32 + 36.53*0.95 + 20*2.144}{120\%}$$

$$\text{Gecom} = 1.345$$

Luego tenemos que:

Gravedad Específica del Cemento	Gecem = 3.15
Gravedad Específica del Agua	Geh20 = 1.0
Gravedad Específica Combinada	Gecom = 1.345

EJEMPLO NUMERICO

Para una relación A/C = 0.5, con una cantidad de cemento de 350 kg/m³ tenemos:

$$A/350 = 0.5 \text{ por tanto Agua} = 175 \text{ lts}$$

MATERIAL	VOLUMEN	Ge	PESO
Cemento	111.11 lts	3.15	350
Agua	175.00 lts	1.00	175
Aire 8%	80.00 lts		
Agregado combinado	633.89 lts	1.345	852.58

El volumen del agregado combinado se determina obteniendo la diferencia entre la suma de los volúmenes conocidos menos 1 m³ (1000 lts - (111.11 + 175 + 80)); luego multiplicando por la gravedad específica se obtiene la cantidad en peso del agregado (852.58 kg) recordando que de este total 80% será

arena y grava de pómez y 20% tierra blanca, es decir:

Arena y Grava = $852.58 * 0.80$ = 682.06 kg
 Tierra blanca = $852.58 * 0.20$ = 170.52 kg

Por lo que el diseño final quedaría:

Cemento 350 Kg
 Agua 175 lts
 Agregado Combinado
 Arena y Grava = 682.06 kg
 Tierra blanca = 170.52 kg
 852.58 kg

Considerando que existe un 8% de aire atrapado¹⁷ en la mezcla.

**CUADRO RESUMEN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA
 ELABORADOS PARA 1 M3**

CANTIDAD DE CEMENTO KGS	AGREGADO (KGS)		AGUA LTS
	POMEZ	TIERRA BLANCA	
275	707.68	176.92	175
300	699.14	174.78	175
325	690.60	172.65	175
350	682.06	170.52	175
375	673.52	168.38	175
400	664.98	166.24	175
425	656.44	164.11	175

¹⁷/PANELES DE CONCRETO LIVIANO PARA DIVISIONES, Larios Cerón y Otros.
 1986

3.6 ELABORACION Y ENSAYO A LA COMPRESION DE CILINDROS DE PRUEBA

Conociendo las propiedades físicas del material se elaboraron tres tipos de mezclas para diferentes proporciones de cemento utilizando a la vez dos tipos de aditivos: un inclusor de aire y un superfluidificante; con el objeto de mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Los aditivos mejoraron notablemente la plasticidad de la mezcla a la vez que permitió una reducción en el agua de mezcla con lo que la resistencia también aumentó.

Se trabajó con el agregado saturado por facilitar el control del agua en la mezcla al no haber mayor absorción de agua por parte del agregado, aunque siempre se requieren pequeñas correcciones.

Los tres tipos de mezclas de prueba elaboradas son : mezcla normal sin aditivo, mezcla con aditivo superfluidificante¹⁰ y mezcla con aditivo inclusor de aire¹⁹. La cantidad de cemento se varió desde 275 kg/m³ hasta 375 kg/m³, para los dos primeros y de 275 kg/m³ a 425 kg/m³ para la última, con incrementos de 25 kg/m³ de cemento en cada diseño de mezcla. De cada una de estas mezclas se elaboraron seis cilindros para ser ensayados a los 7, 14 y 28 días de edad. La compactación

¹⁰/SIKAMENT al 0.75% del peso del cemento contenido en la mezcla

¹⁹/SIKA AER al 0.08% del peso del cemento contenido en la mezcla.

del concreto en la elaboración de los cilindros se hizo en tres capas utilizando un vibrador de inmersión de 7/8 plg, vibrándolos durante 5 seg. por cada capa.

Para el curado de los cilindros estos fueron desmoldados después de 24 horas y luego sumergidos en agua.

Los resultados de ensayos de compresión de cilindros para cada tipo de mezcla diseñada se presentan a continuación:

MEZCLA NORMAL**CANTIDAD DE CEMENTO: 275 KG/M3**

PR No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm ²	PENET pul	T min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm ²	ESFUER PROMED
1	15.2	30.30	181.46	1.00	5	7	18,000.00	8,181.82	45.09	51.10
3	15.1	30.30	179.08	1.00	5	7	22,500.00	10,227.27	57.11	
4	15.2	30.50	181.46	1.00	5	14	25,000.00	11,363.64	62.62	61.82
6	15.4	30.40	186.27	1.00	5	14	25,000.00	11,363.64	61.01	
2	15.3	30.30	183.85	1.00	5	28	32,500.00	14,772.73	80.35	81.13
5	15.5	30.40	188.69	1.00	5	28	34,000.00	15,454.55	81.90	

MEZCLA NORMAL**CANTIDAD DE CEMENTO: 300 KG/M3**

PR No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm ²	PENET pul	TIE min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESF kg/cm ²	ESF PROM
7	15.2	30.30	181.46	1.50	5	7	24,500.00	11,136.36	61.37	61.19
9	15.4	30.30	186.27	1.50	5	7	25,000.00	11,363.64	61.01	
10	15.2	30.40	181.46	1.50	5	14	30,500.00	13,863.64	76.40	71.83
12	15.1	30.30	179.08	1.50	5	14	26,500.00	12,045.45	67.26	
8	15.2	30.30	181.46	1.50	5	28	36,500.00	16,590.91	91.43	90.28
11	15.5	30.50	188.69	1.50	5	28	37,000.00	16,818.18	89.13	

MEZCLA NORMAL

CANTIDAD DE CEMENTO: 325 KG/M3

PR No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm2	PENET pul	T min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm2	ESFUER PROMED
13	15.7	30.30	193.59	1.50	5	7	29,500.00	13,409.09	69.26	
15	15.2	30.50	181.46	1.50	5	7	27,500.00	12,500.00	68.89	69.08
16	15.3	30.60	183.85	1.50	5	14	34,500.00	15,681.82	85.30	
18	15.2	30.50	181.46	1.50	5	14	33,500.00	15,227.27	83.92	84.61
14	15.4	30.00	186.27	1.50	5	28	48,000.00	20,909.09	112.25	
17	15.0	30.10	176.71	1.50	5	28	44,500.00	20,227.27	114.46	113.36

MEZCLA NORMAL

CANTIDAD DE CEMENTO: 350 KG/M3

PR No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm2	PENET pul	T min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm2	ESF PROM
19	15.8	30.50	196.07	1.25	5	7	34,500.00	15,681.82	79.99	
21	15.1	30.50	179.08	1.25	5	7	30,500.00	13,863.64	77.42	78.70
22	15.1	30.50	179.08	1.25	5	14	38,000.00	17,272.73	96.45	
24	15.5	30.50	188.69	1.25	5	14	39,000.00	17,727.27	93.95	95.20
20	15.1	30.50	179.08	1.25	5	28	50,500.00	22,854.55	128.18	
23	15.2	30.30	181.46	1.25	5	28	48,000.00	21,818.18	120.24	124.21

MEZCLA NORMAL

CANTIDAD DE CEMENTO: 375 KG/M3

PR No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm2	PENET pul	TIE min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm2	ESFUER PROMED
25	15.2	30.40	181.46	1.50	5	7	34,000.00	15,454.55	85.17	
27	15.3	30.30	183.85	1.50	5	7	35,500.00	16,136.36	87.77	86.47
28	15.5	30.00	188.69	1.50	5	14	47,000.00	21,363.64	113.22	
30	15.2	30.30	181.46	1.50	5	14	42,000.00	19,090.91	105.21	109.21
26	15.2	30.20	181.46	1.50	5	28	57,500.00	26,136.36	144.04	
29	15.2	30.40	181.46	1.50	5	28	55,500.00	25,227.27	139.03	141.53

MEZCLA CON ADITIVO SIKAMENT CANTIDAD DE CEMENTO: 275 KG/M3

PR No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm2	PENET pul	T min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm2	ESF PROM
31	15.1	30.3	179.08	1	5	7	24,500.00	11,136.36	62.19	
33	15.3	30.4	183.85	1	5	7	25,500.00	11,590.91	63.04	62.62
34	15.2	30.3	181.46	1	5	14	35,500.00	16,136.36	88.93	
36	15.2	30.2	181.46	1	5	14	35,500.00	16,136.36	88.93	88.93
32	15.2	30.5	181.46	1	5	28	40,000.00	18,181.82	100.20	
35	15.2	30.4	181.46	1	5	28	43,000.00	19,545.45	107.71	103.96

MEZCLA CON ADITIVO SIKAMENT CANTIDAD DE CEMENTO: 300 KG/M3

PR No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm2	PENET pul	T min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm2	ESFUER PROMED
37	15.6	30.3	181.13	1	5	7	34,000.00	15,454.55	80.86	
38	15.2	30.3	181.46	1	5	7	26,500.00	12,045.45	66.38	73.62
40	15.7	30.3	183.59	1	5	14	41,500.00	18,863.64	97.44	
42	15.7	30.3	183.59	1	5	14	41,000.00	18,636.36	96.27	96.65
38	15.3	30.5	183.85	1	5	28	45,000.00	20,454.55	111.25	
41	15.2	30.4	181.46	1	5	28	45,000.00	20,454.55	112.72	111.89

MEZCLA CON ADITIVO SIKAMENT CANTIDAD DE CEMENTO: 325 KG/M3

PR No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm2	PENET pul	T min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm2	ESF PROM
43	15.2	30.5	181.46	1.25	5	7	34,000.00	15,454.55	85.17	
45	15.3	30.3	183.85	1.25	5	7	34,000.00	15,454.55	84.06	84.61
44	15.2	30.5	181.46	1.25	5	14	41,000.00	18,636.36	102.70	
47	15.2	30.3	181.46	1.25	5	14	41,000.00	18,636.36	102.70	102.70
46	15.2	30.4	181.46	1.25	5	28	52,000.00	23,636.36	130.26	
48	15.5	30.3	188.69	1.25	5	28	45,500.00	20,681.82	108.61	118.93

MEZCLA CON ADITIVO SIKAMENT CANTIDAD DE CEMENTO: 350 KG/M3

PR	DIAM	LONG	AREA	PENET	T	EDA	CARGA	CARGA	ESFUER	ESFUER
No.	cm	cm	cm2	pul	min	dias	lbs	Kgs	kg/cm2	PROMED
48	15.2	30.6	181.46	1.25	5	7	36,000.00	16,363.64	80.18	
51	15.5	30.4	188.68	1.25	5	7	38,000.00	17,272.73	81.54	90.88
50	15.2	30.2	181.46	1.25	5	14	45,000.00	20,454.55	112.72	
53	15.2	30.2	181.46	1.25	5	14	44,000.00	20,000.00	110.22	111.47
52	15.2	30.4	181.46	1.25	5	28	53,500.00	24,318.18	134.02	
54	15.2	30.3	181.46	1.25	5	28	51,000.00	23,181.82	127.75	130.88

MEZCLA CON ADITIVO SIKAMENT CANTIDAD DE CEMENTO: 375 KG/M3

PR	DIAM	LONG	AREA	PENET	T	EDA	CARGA	CARGA	ESFUER	ESFUER
No.	cm	cm	cm2	pul	min	dias	lbs	Kgs	kg/cm2	PROM
55	15.7	30.5	183.58	1.25	5	7	43,000.00	19,545.45	100.96	
57	15.2	30.0	181.46	1.25	5	7	37,500.00	17,045.45	83.94	97.45
56	15.2	30.3	181.46	1.25	5	14	48,000.00	22,272.73	122.74	
59	15.2	30.4	181.46	1.25	5	14	48,500.00	22,045.45	121.49	122.12
58	15.1	30.2	179.08	1.25	5	28	62,500.00	28,408.09	158.94	
60	15.2	30.4	181.46	1.25	5	28	57,000.00	25,909.09	142.78	150.71

MEZCLA CON ADITIVO SIKA AER CANTIDAD DE CEMENTO: 275 KG/M3

PR	DIAM	LONG	AREA	PENET	T	EDA	CARGA	CARGA	ESFUER	ESFUER
No.	cm	cm	cm2	pul	min	dias	lbs	Kgs	kg/cm2	PROMED
64	15.2	30.40	181.46	1.00	7	7	25,500.00	11,580.91	63.88	
65	15.3	30.40	183.85	1.00	7	7	24,500.00	11,136.36	60.57	62.22
61	15.2	30.50	181.46	1.00	7	14	31,500.00	14,318.18	78.91	
63	15.2	30.50	181.46	1.00	7	14	33,500.00	15,227.27	83.82	81.41
66	15.2	30.30	181.46	1.00	7	28	40,000.00	18,181.82	100.20	
62	15.7	30.50	193.59	1.00	7	28	45,000.00	20,454.55	105.66	102.93

PR	DIAM	LONG	AREA	PENET	T	EDA	CARGA	CARGA	ESFUER	PROMED
No.	cm	cm	cm ²	pul	min	dias	lbs	Kgs	ESFUER	kg/cm ²
79	15.3	30.50	183.85	1.00	7	7	34,000.00	15,454.55	84.08	
81	15.5	30.60	188.69	1.00	7	7	35,500.00	16,138.38	85.52	84.79
82	15.2	30.60	181.46	1.00	7	14	42,000.00	18,090.91	105.21	103.14
84	15.6	30.30	191.13	1.00	7	14	42,500.00	19,318.18	101.07	
80	15.2	30.40	181.46	1.00	7	28	48,500.00	22,045.45	121.49	
83	15.3	30.40	183.85	1.00	7	28	47,000.00	21,363.64	116.20	118.84

MEZCLA CON ADITIVO SIK AER CANTIDAD DE CEMENTO: 350 KG/M³

PR	DIAM	LONG	AREA	PENET	T	EDA	CARGA	CARGA	ESFUER	PROMED
No.	cm	cm	cm ²	pul	min	dias	lbs	Kgs	ESFUER	kg/cm ²
73	15.6	30.60	191.13	1.25	7	7	30,000.00	13,636.36	71.34	
75	15.2	30.50	181.46	1.25	7	7	30,500.00	13,863.64	76.40	73.87
74	15.2	30.30	181.46	1.25	7	14	38,500.00	17,954.55	98.95	
77	15.2	30.40	181.46	1.25	7	14	38,500.00	17,954.55	98.95	98.95
76	15.6	30.30	191.13	1.25	7	28	45,500.00	20,681.82	108.21	
78	15.1	30.40	179.08	1.25	7	28	43,000.00	19,545.45	108.14	108.68

MEZCLA CON ADITIVO SIK AER CANTIDAD DE CEMENTO: 325 KG/M³

PR	DIAM	LONG	AREA	PENET	T	EDA	CARGA	CARGA	ESFUER	PROM
No.	cm	cm	cm ²	pul	min	dias	lbs	Kgs	ESFUER	kg/cm ²
67	15.3	30.50	183.85	1.25	7	7	25,500.00	11,590.91	63.04	
70	15.3	30.30	183.85	1.25	7	7	27,500.00	12,500.00	67.99	65.52
72	15.4	30.50	188.27	1.25	7	14	36,500.00	16,590.91	99.07	
68	15.4	30.70	188.27	1.25	7	14	35,000.00	15,909.09	85.41	87.24
69	15.2	30.30	181.46	1.25	7	28	42,500.00	19,318.18	106.46	
71	15.2	30.40	181.46	1.25	7	28	42,500.00	19,318.18	106.46	106.46

MEZCLA CON ADITIVO SIK AER CANTIDAD DE CEMENTO: 300 KG/M³

MEZCLA CON ADITIVO SIKA AER

CANTIDAD DE CEMENTO: 375 KG/M³

PRO No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm ²	PENET pul	T min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm ²	ESFUER PROMED
85	15.2	30.50	181.46	1.00	7	7	38,000.00	17,272.73	95.19	
87	15.4	30.50	186.27	1.00	7	7	40,000.00	19,181.82	97.61	96.40
88	15.7	30.60	183.58	1.00	7	14	48,000.00	21,818.18	112.70	
90	15.4	30.60	186.27	1.00	7	14	50,000.00	22,727.27	122.02	117.36
86	15.3	30.40	183.85	1.00	7	28	53,000.00	24,090.91	131.03	
89	15.2	30.40	181.46	1.00	7	28	55,000.00	25,000.00	137.77	134.40

MEZCLA CON ADITIVO SIKA AER

CANTIDAD DE CEMENTO: 400 KG/M³

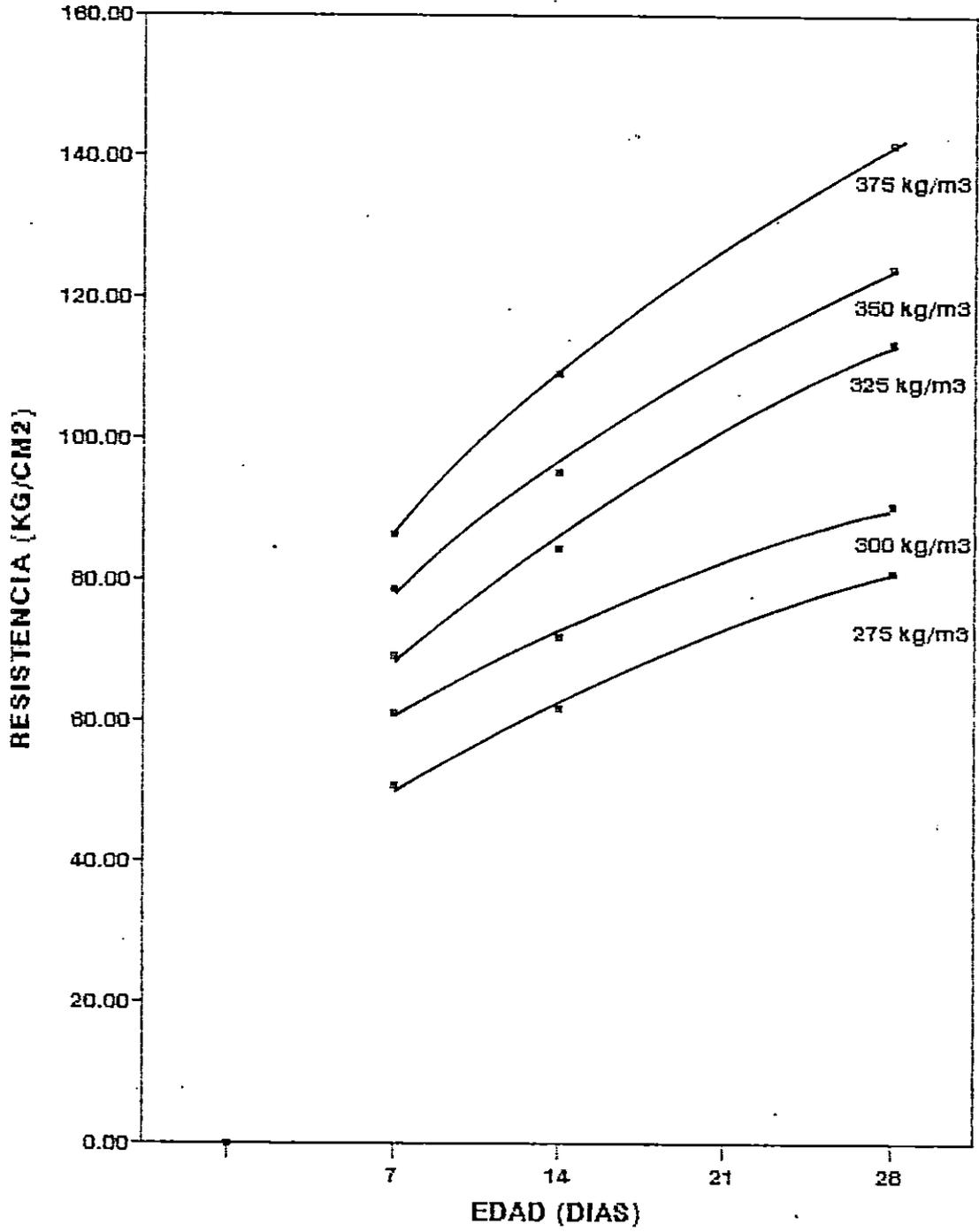
PRO No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm ²	PENET pul	T min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm ²	ESFUER PROMED
91	15.2	30.60	181.46	1.50	7	7	45,000.00	20,454.55	112.72	
94	15.4	30.40	186.27	1.50	7	7	47,000.00	21,383.64	114.69	113.71
92	15.3	30.60	183.85	1.50	7	14	55,500.00	25,227.27	137.21	
95	15.0	30.60	176.71	1.50	7	14	52,000.00	23,636.36	133.75	135.48
93	15.5	30.40	188.69	1.50	7	28	59,500.00	27,045.45	143.33	
96	15.4	30.50	186.27	1.50	7	28	58,000.00	26,363.64	141.54	142.43

MEZCLA CON ADITIVO SIKA AER

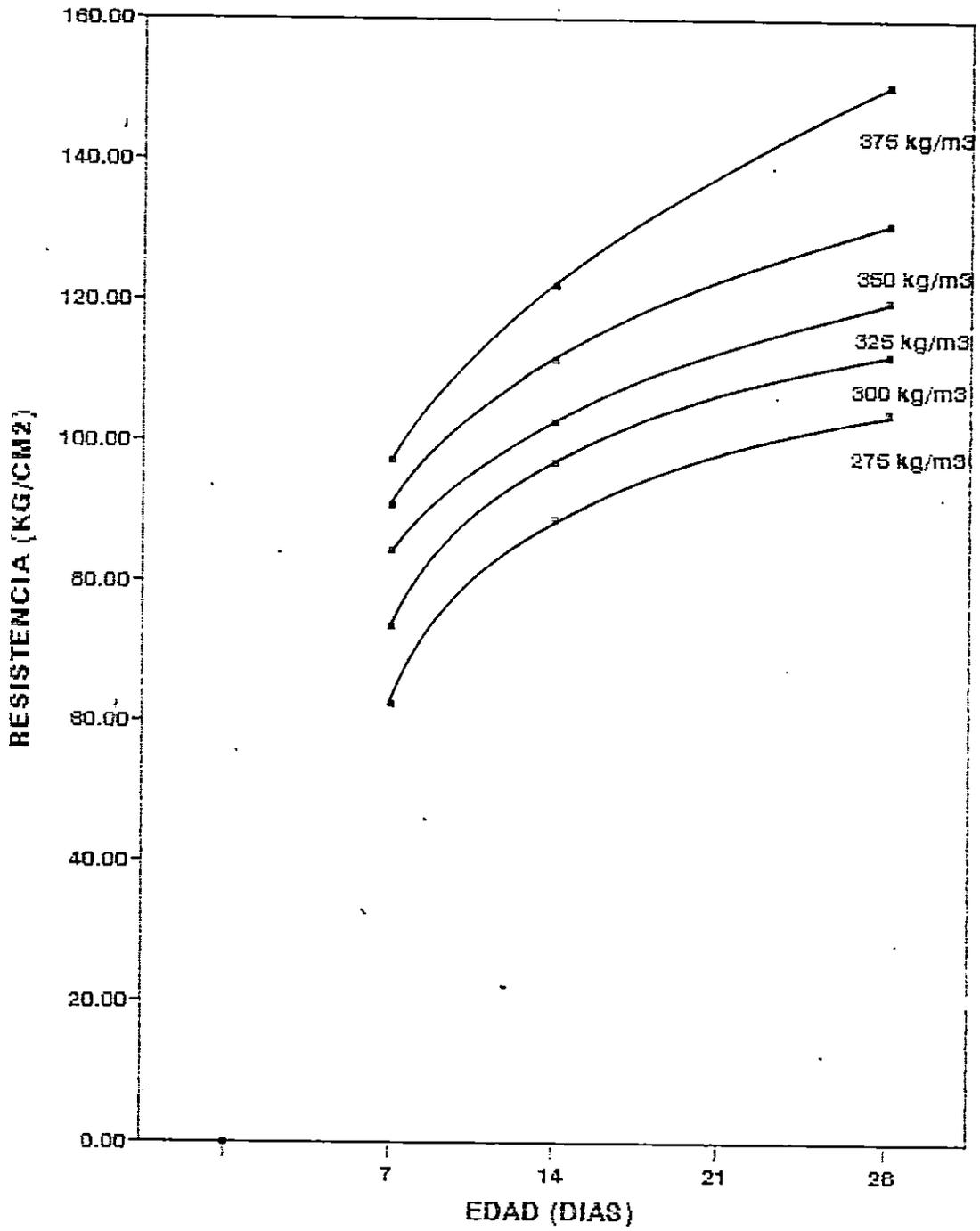
CANTIDAD DE CEMENTO: 425 KG/M³

PRO No.	DIAM cm	LONG cm	AREA cm ²	PENET pul	T min	EDA dias	CARGA lbs	CARGA Kgs	ESFUER kg/cm ²	ESFUER PROMED
97	15.3	30.60	183.85	1.00	7	7	49,000.00	22,272.73	121.14	
100	15.4	30.60	186.27	1.00	7	7	52,000.00	23,636.36	126.90	124.02
98	15.2	30.50	181.46	1.00	7	14	58,000.00	25,454.55	140.28	
101	15.3	30.50	183.85	1.00	7	14	58,500.00	25,681.82	139.69	139.88
99	15.1	30.50	178.08	1.00	7	28	58,500.00	26,590.91	148.49	
102	15.2	30.50	181.46	1.00	7	28	59,500.00	27,045.45	149.04	149.77

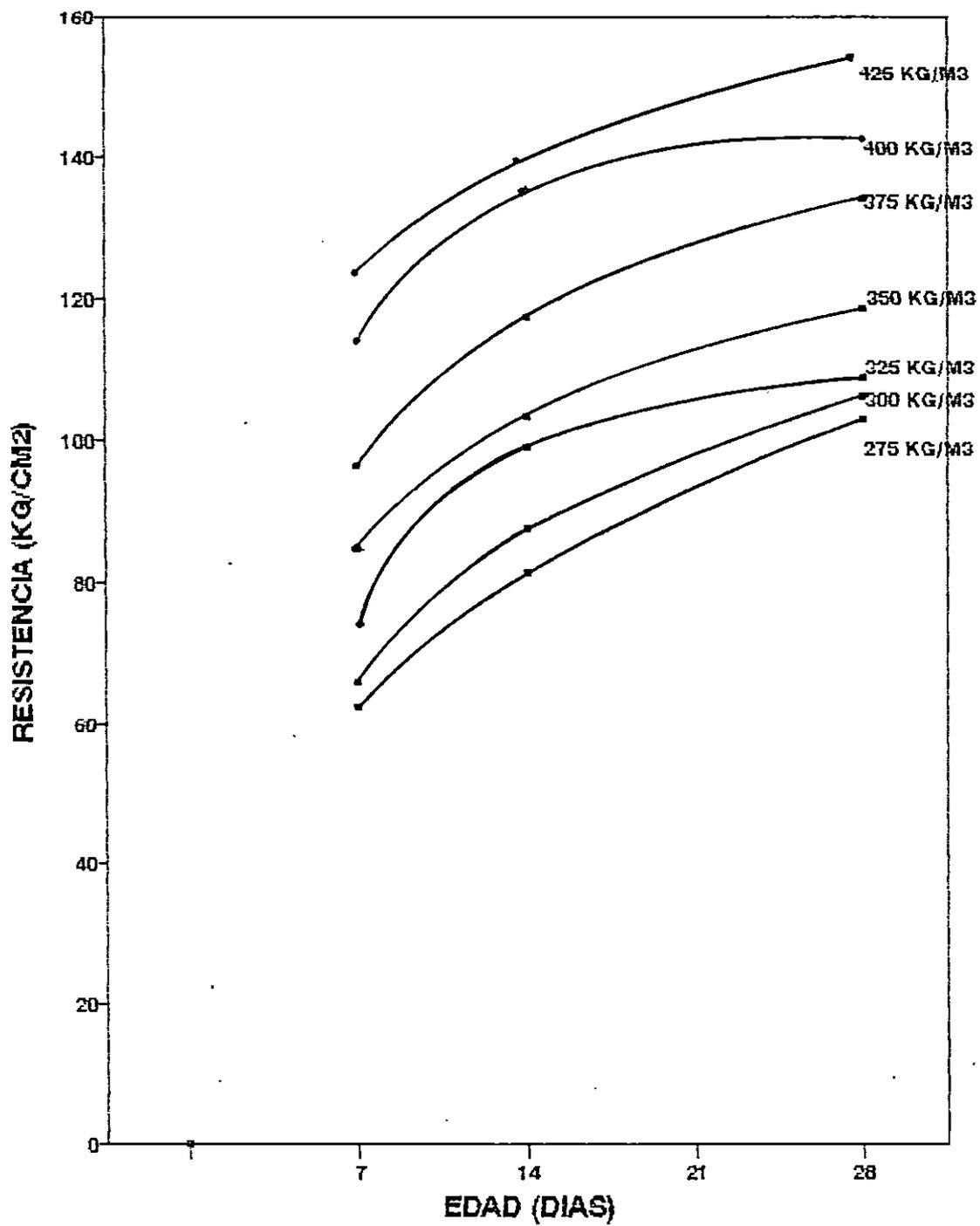
RESISTENCIA - EDAD
MEZCLA NORMAL



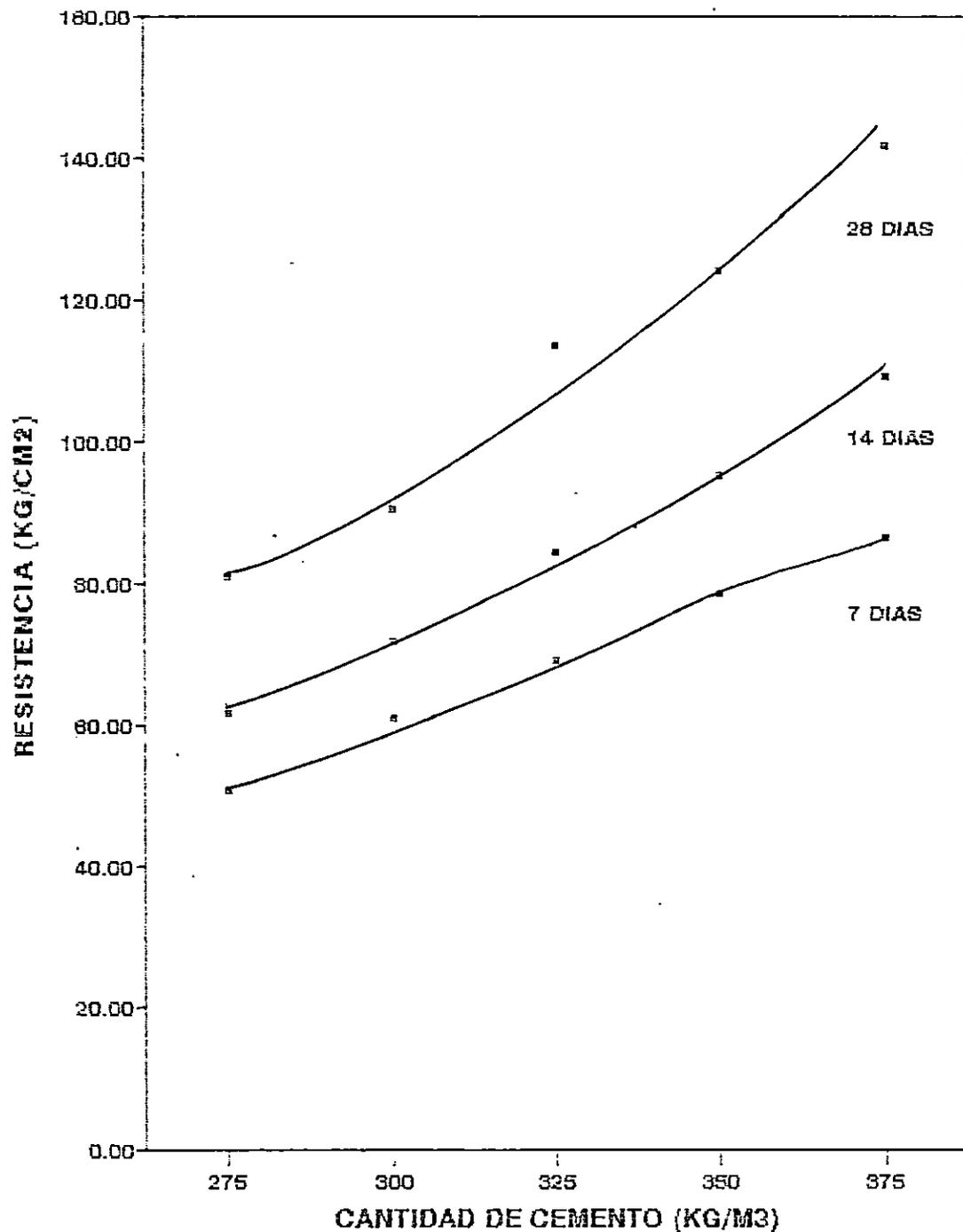
RESISTENCIA - EDAD
MEZCLA CON SUPERFLUIDIFICANTE



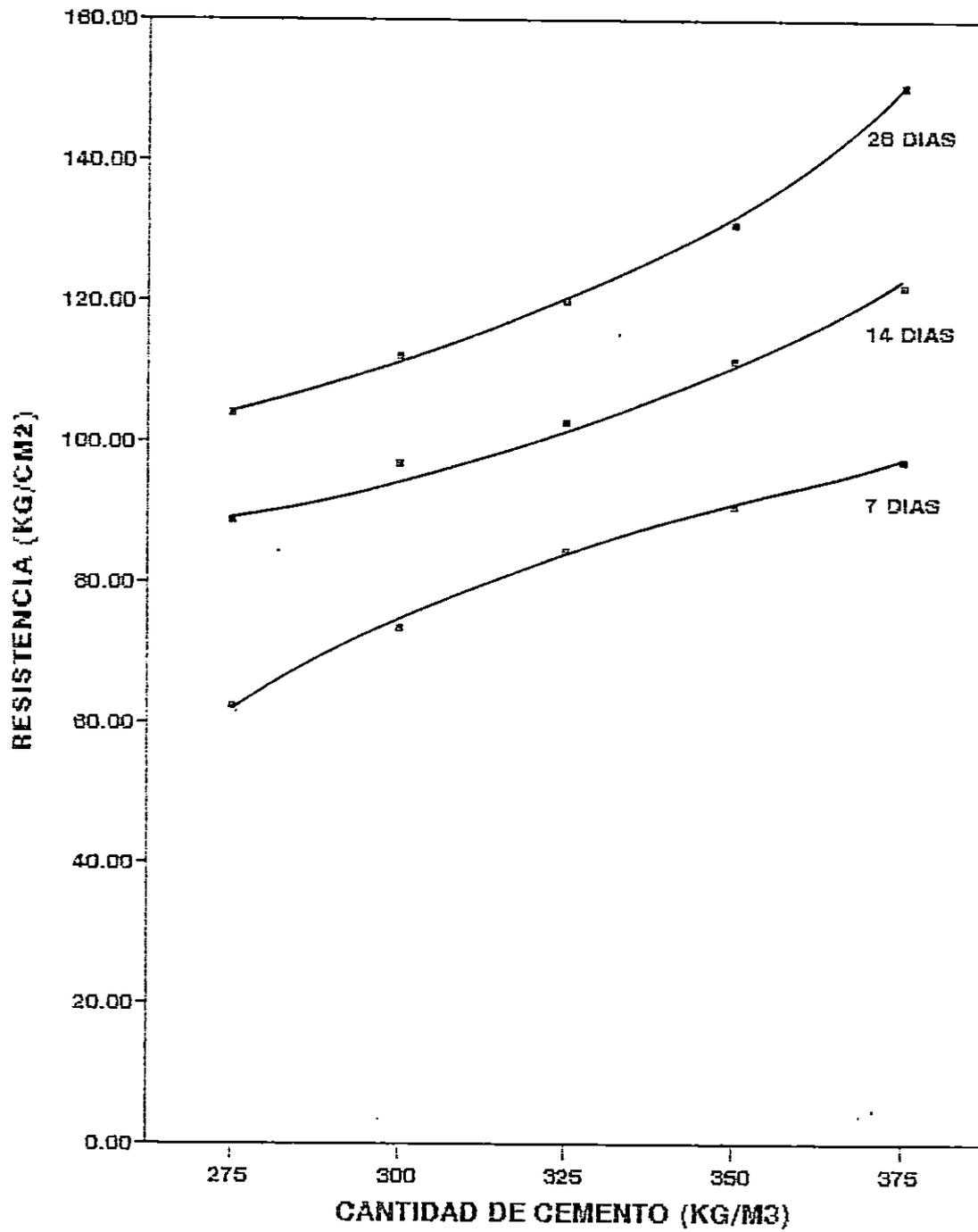
RESISTENCIA-EDAD
MEZCLA CON INCLUSOR DE AIRE



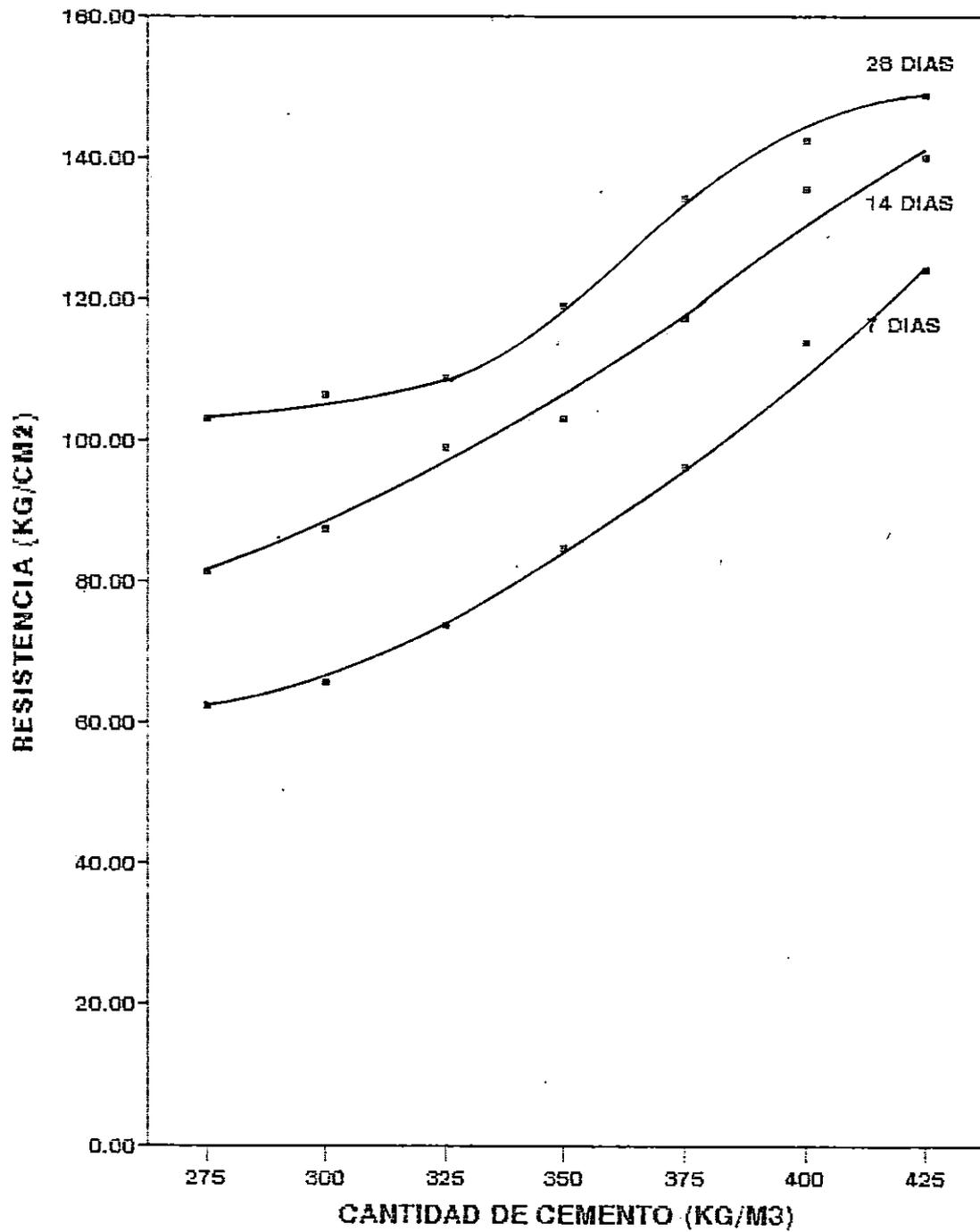
RESISTENCIA - CANTIDAD DE CEMENTO
MEZCLA NORMAL



RESISTENCIA - CANTIDAD DE CEMENTO
MEZCLA CON SUPERFLUIDIFICANTE



RESISTENCIA - CANTIDAD DE CEMENTO
MEZCLA CON INCLUSOR DE AIRE



3.7 ANALISIS DE RESULTADOS

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO

En base a los resultados obtenidos en el laboratorio sobre las propiedades físicas de la piedra pómez de la Finca El Limón, se determinó que estas se encuentran dentro de los rangos permitidos por las normas para cada caso en particular a excepción de la granulometría del agregado natural que no cumple con la Norma ASTM C-330 (Ver anexo No. 5) por lo que según ya se indicó anteriormente se corrigió para su empleo en la elaboración de las mezclas de concreto.

MEZCLAS DE PRUEBA

Las mezclas de prueba se diseñaron por el método del volumen absoluto (ver ejemplo numérico en página No. 71). El agregado se utilizó en la condición presaturada lo que permitió un mejor control del agua de mezcla, a la vez que evitó que se presentaran las situaciones siguientes:

- Apariencia fluida del concreto y segregación antes que el agregado absorbiera el agua de mezcla.
- Rápido endurecimiento del concreto debido a la absorción del agregado.
- Dificultad de colocación del concreto por la pérdida de trabajabilidad.
- Mayor segregación en la mezcla.

El uso de los aditivos Sikament y Sika Aer contribuyó a mejorar la trabajabilidad de las mezclas, siendo más ventajoso el Sikament que permitió un menor consumo de agua (disminuyendo aproximadamente un 20%) a la vez que incrementó la resistencia obtenida en comparación a las mezclas con Sika Aer y a la Normal sin aditivo.

Para el empleo de ambos aditivos se siguieron las recomendaciones del fabricante en cuanto a las cantidades a usar, siendo las siguientes:

SIKAMENT	0.75 % DEL PESO DEL CEMENTO
SIKA AER	0.08 % DEL PESO DEL CEMENTO

Los tiempos de mezclado usados, elaborando la mezcla con una mezcladora de tambor basculante fueron:

Mezcla Norma sin aditivo	5 minutos
Mezcla con aditivo sikament	5 minutos
Mezcla con aditivo sika aer	7 minutos

La compactación de los cilindros, efectuada con un vibrador de inmersión se realizó en 3 capas vibrando cinco segundos cada capa; lo que proporcionó un aceptable acabado superficial por lo que este método puede ser empleado sin mayores inconvenientes.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE PRUEBA

Para visualizar el comportamiento del concreto de pómez en las diferentes mezclas ensayadas, con respecto a la ganancia de resistencia conforme aumenta la edad, se presenta a continuación un cuadro comparativo para una mezcla de 375 kg de cemento por metro cúbico de concreto.

CUADRO COMPARATIVO DE RESISTENCIAS PARA
UNA MEZCLA DE 375 kg DE CEMENTO POR M³ DE CONCRETO

TIPO DE MEZCLA	F'c 7 DIAS	% RESPECT A F'c 28 DIAS	F'c 14 DIAS	% RESPEC A F'c 28 DIAS	F'c 28 DIAS
MEZCLA NORMAL SIN ADITIVO	86.47	61	109.21	77	141.83
MEZCLA CON ADITIVO SUPERFLUIDIFICANTE	97.45	65	122.21	81	150.71
MEZCLA CON ADITIVO INCLUSOR DE AIRE	96.40	71	117.36	87	134.40

Como podrá observarse, para los 3 tipos de mezcla, a los 7 días de edad el concreto alcanzó más del 60% de su resistencia a los 28 días y a los 14 días llegó a más del 75% de su resistencia a los 28 días. Este comportamiento es similar al que presenta el concreto denso normal; también podrá notarse que la resistencia a la compresión es mayor para la mezcla donde se usó aditivo Sikament. Dado que la trabajabilidad que presentaron las mezclas con aditivo Sika Aer era un poco mejor

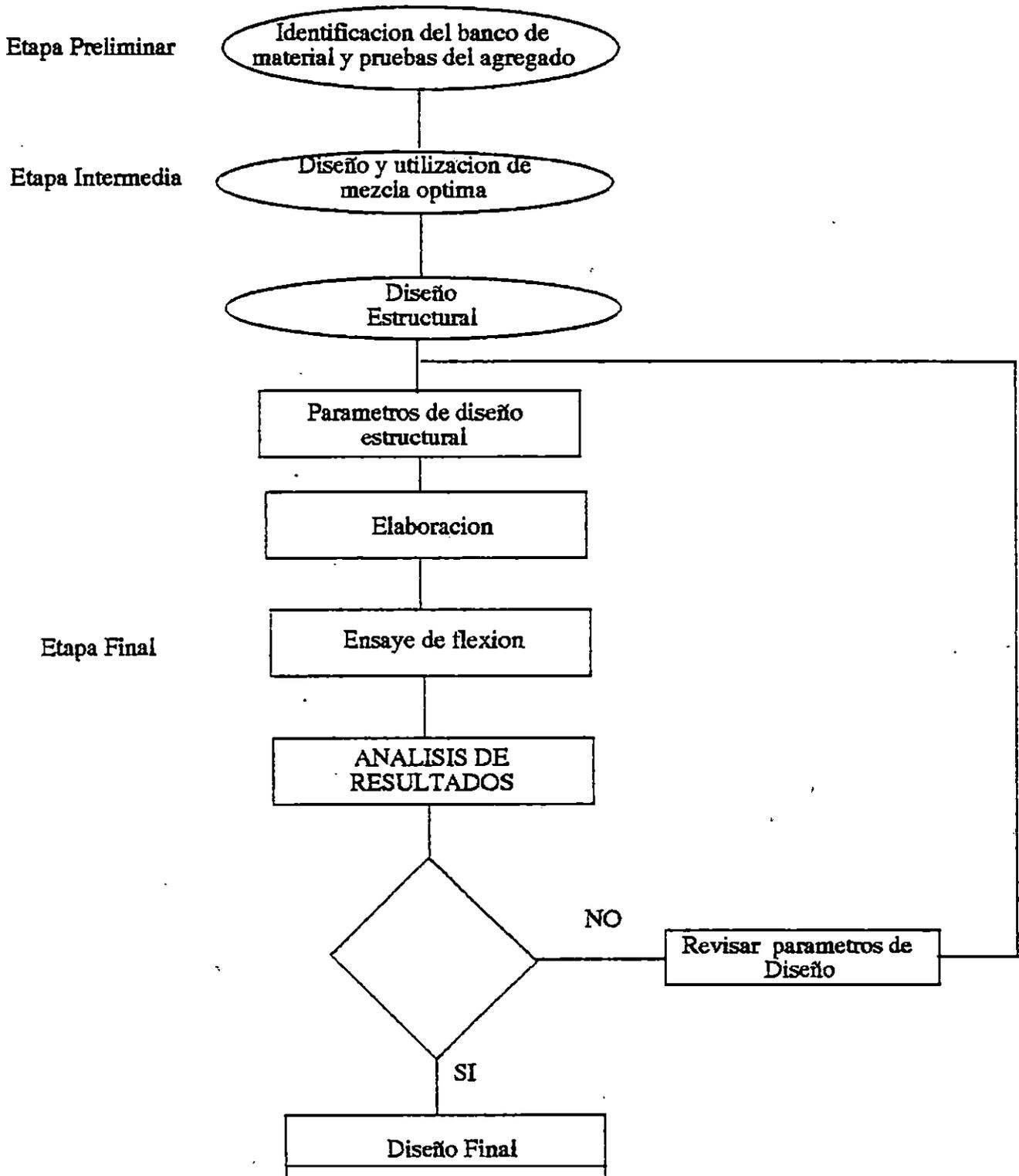
que los otros dos tipos de mezcla, se ensayaron mezclas con mayor cantidad de cemento hasta 425 kg/m³, lográndose una resistencia a la compresión a los 28 días de 148.77 kg/cm² inferior a la obtenida para 375 kg de cemento por metro cúbico de concreto con aditivo Sikament.

Este resultado es comprensible debido a que el aditivo Sika Aer incorpora a la mezcla mayor cantidad de vacíos razón por la cual la resistencia disminuye.

Analizando los resultados obtenidos en cuanto a la trabajabilidad y resistencia a la compresión se utilizará para la fabricación de los elementos la mezcla de 375 kg de cemento por metro cúbico de concreto con aditivo Sikament al 0.75 % del peso del cemento.

DISEÑO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS

4.1 ETAPAS DE ANALISIS



4.2 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ELEMENTOS

4.2.1 CONCRETO

4.2.1.1 RELACION A/C

La resistencia a la compresión del concreto se considera por lo general como su propiedad más valiosa al considerarse éste como un indicador de su calidad.

Esta resistencia depende casi exclusivamente, de la relación Agua/cemento que se utiliza para su fabricación.

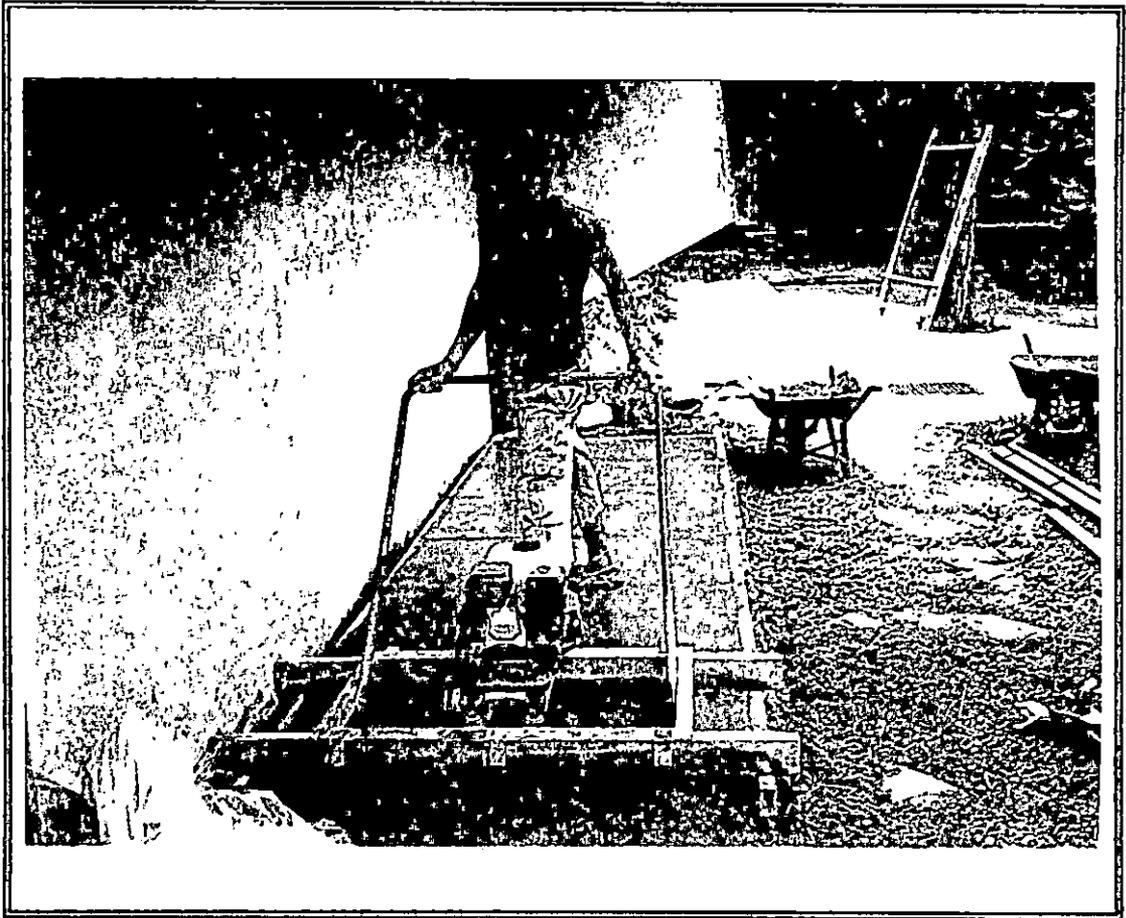
En la fabricación de los elementos se usó concreto con una A/C teórica de 0.47 ó sea 175 lts de agua para 375 Kg. de cemento para un metro cúbico de concreto. Sin embargo, como se explicó anteriormente, el uso del aditivo superfluidificante^{1a} permitió una reducción en el agua de mezcla de aproximadamente un 20%; siendo entonces la A/C real usada de 0.38. Es importante señalar que la prueba de penetración de la Esfera de Kelly se mantuvo entre 1 plg y 1½ plg.

4.2.1.2 COMPACTACION

Durante la elaboración de los cilindros de prueba, el concreto de pómez se compactó con un vibrador de inmersión. Para las losetas este método de compactación no era el adecuado; optando entonces por usar una regla vibratoria como la descrita

^{1a}/SIKAMENT AL 0.75% del peso del cemento.

en el Capítulo III y que se muestra en la fotografía número IV.1.



Fotografía IV.1 Regla Vibratoria

El uso de este equipo facilita en gran manera la compactación de los elementos por llevar piezas adaptadas que permiten efectuar el vibrado de arriba hacia abajo deslizando el equipo en una sola dirección.

El colado de los elementos se realizó así:

10. Engrase del molde.

20. Llenado hasta el 50% de la altura del molde y luego se enrasó con regla.

30. Se colocó el acero de refuerzo (estructomalla y/o acero de 3.8 mm de diámetro).

40. Lleno complementario del molde con concreto.

50. Se compactó el concreto con Regla Vibratoria, pasándola dos veces sobre los moldes.

60. Proporcionar acabado superficial con llana metálica.

4.2.1.3 CURADO

Para el curado del concreto o para los elementos de concreto, éste debe mantenerse a una temperatura arriba de los 10°C y en condiciones húmedas por lo menos durante los primeros 7 días después del colado. Siguiendo este lineamiento expuesto en el Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado ACI 318-89 Sección 5.11 "CURADO", las losetas fueron cuidadosamente depositadas en unas pilas de asbesto-cemento donde permanecieron sumergidas en agua hasta la fecha de

ruptura.

Sin embargo, pueden emplearse métodos alternativos de curado que aceleren la adquisición de resistencia y reduzcan el tiempo de curado, siempre y cuando produzcan un concreto con durabilidad equivalente al sugerido por el ACI 318-89, Sección 5.11.1

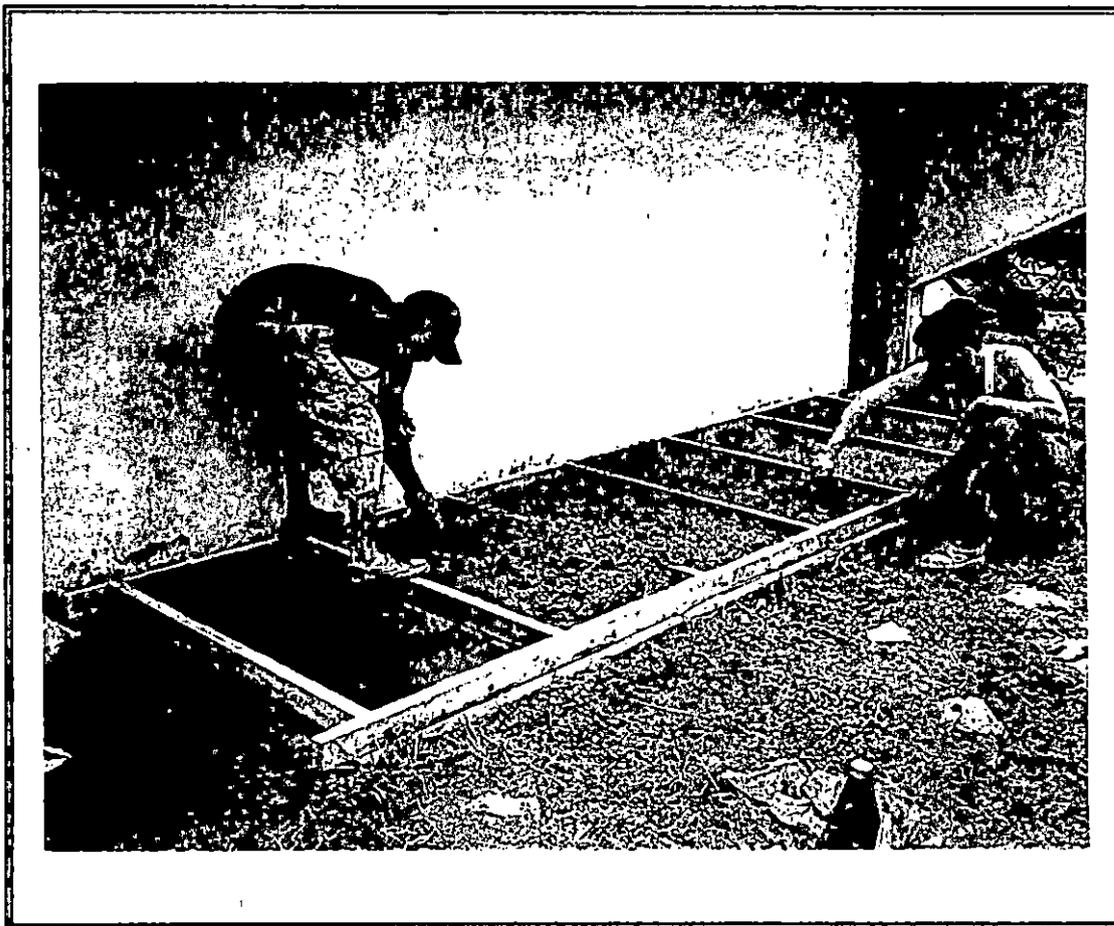
4.2.2 DIMENSIONES

Con el objeto de fabricar un elemento cuyas características sean similares a las existentes en el mercado y poder así establecer una comparación entre ambos, los cálculos de diseño se harán considerando una loseta con dimensiones 0.60m X 2.0m. Sin embargo, debido a las condiciones de espacio en la máquina de ensayos y la movilidad en el laboratorio, éstas serán construidas de 0.60m X 1.20m colocando el mismo espaciamiento del refuerzo obtenido en el diseño del elemento de 2.0 m; para que a partir de los resultados que se obtengan hacer la correlación para estimar la carga que resistirá el elemento diseñado originalmente.

Bajo estas consideraciones, se diseñarán dos moldes de madera con capacidad para 6 losetas cada uno. Cada loseta será de 1.20 m de largo por 0.60 m de ancho (Ver Fotografía IV.2) con espesores de 5 y 7 cm.

Estos espesores permiten que se cumpla con los requisitos de recubrimiento mínimo que exige el ACI 318-89 referente a la

protección del acero de refuerzo, a la vez que se podrá efectuar, en base a resultados de resistencia y manejabilidad, una comparación entre ambos, a fin de seleccionar la que mejor se adapte a las cargas a las que puede ser expuesta, sin descuidar el aspecto económico de las mismas.



Fotografía IV.2 Moldes de madera para losetas

Es importante señalar que existen en el mercado elementos similares de concreto de peso normal cuya longitud máxima es de 2.0 m con espesores de 4 y 5 cm y anchos de 25 y 50 cm respectivamente.

Las dimensiones aquí ensayadas no restringen la posibilidad

de realizar ensayos con elementos de mayor longitud y ancho, siempre que las condiciones para ello sean factibles.

4.2.3 REFUERZO

4.2.3.1 CUANTIA

A) CONSIDERACIONES DE CARGA

Para el análisis del acero de refuerzo con el que se fabricarán los elementos prefabricados (losetas) se han tomado en cuenta diversas condiciones de carga que podría tener el elemento en un momento determinado cuando éste haya sido fabricado y esté siendo utilizado. Estas condiciones son las siguientes:

- 1) Elemento sujeto a flexión transversal a las 36 horas de edad.

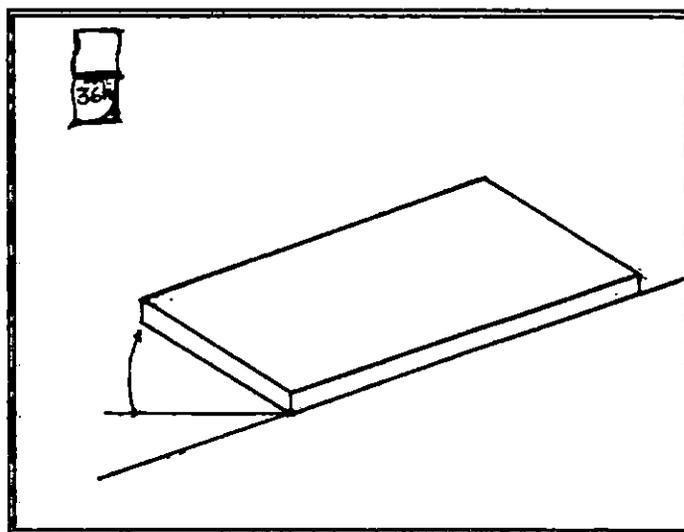


Fig. IV.1

2) Elemento sujeto a flexión longitudinal a los 14 días de edad.

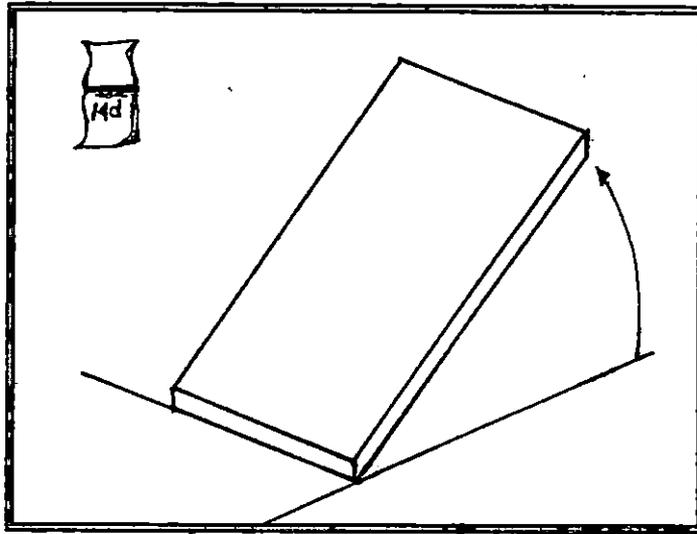


Fig. IV.2

3) Elemento sujeto a fuerzas de impacto o carga viva a los 28 días de edad.

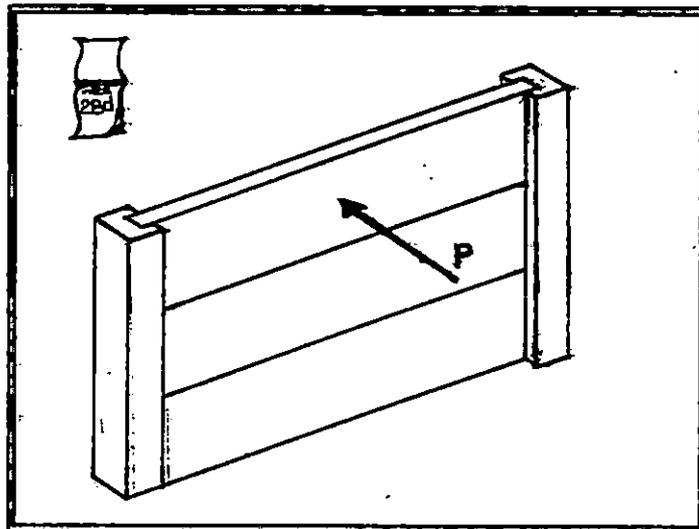
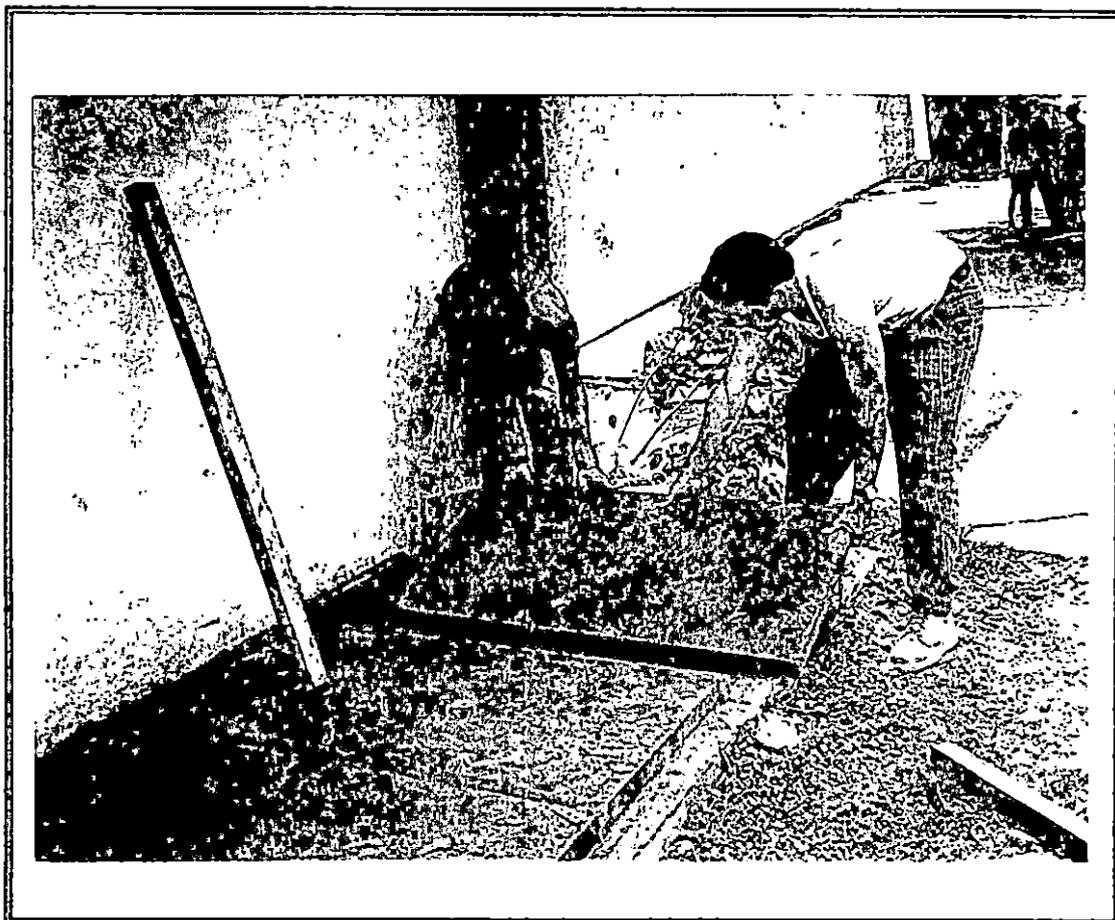


Fig. IV.3

En la primera de las consideraciones se supone que el elemento es levantado a las 36 horas del lugar de elaboración

para trasladarlo a la pila de curado, por el lado del eje más largo, es decir, que el elemento es sometido a flexión por el eje corto, que en este caso es de 60 cm. La carga que estará soportando el elemento en esta condición será el peso propio de la loseta. Ver Fotografía IV.3



Fotografía IV.3 Loseta levantada a las 36 horas de edad.

La segunda consideración de carga se refiere a que la loseta es levantada a los 14 días de edad (edad asumida para suspender el curado e iniciar la comercialización), sometiendo

el eje largo de la loseta a flexión, siendo este lado teóricamente de 200 cm donde la carga actuante será el peso propio de la loseta. Ver Fotografía IV.4



Fotografía IV.4 Loseta levantada a los 14 días de edad

En la tercera consideración se tomó como criterio una carga de impacto equivalente a 50 kg a los 28 días de edad. Ver Figura IV.4.

B) CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LOSETAS

1. Se analizará la loseta tomando en cuenta los efectos debido a flexión. El procedimiento de análisis que se utilizará

en este trabajo despreciará los efectos de carga axial, debido a la forma de colocación misma de la loseta al ser ensayada, simplemente apoyada (Ver Sección 4.2.4.1 donde se detalla el montaje de la loseta).

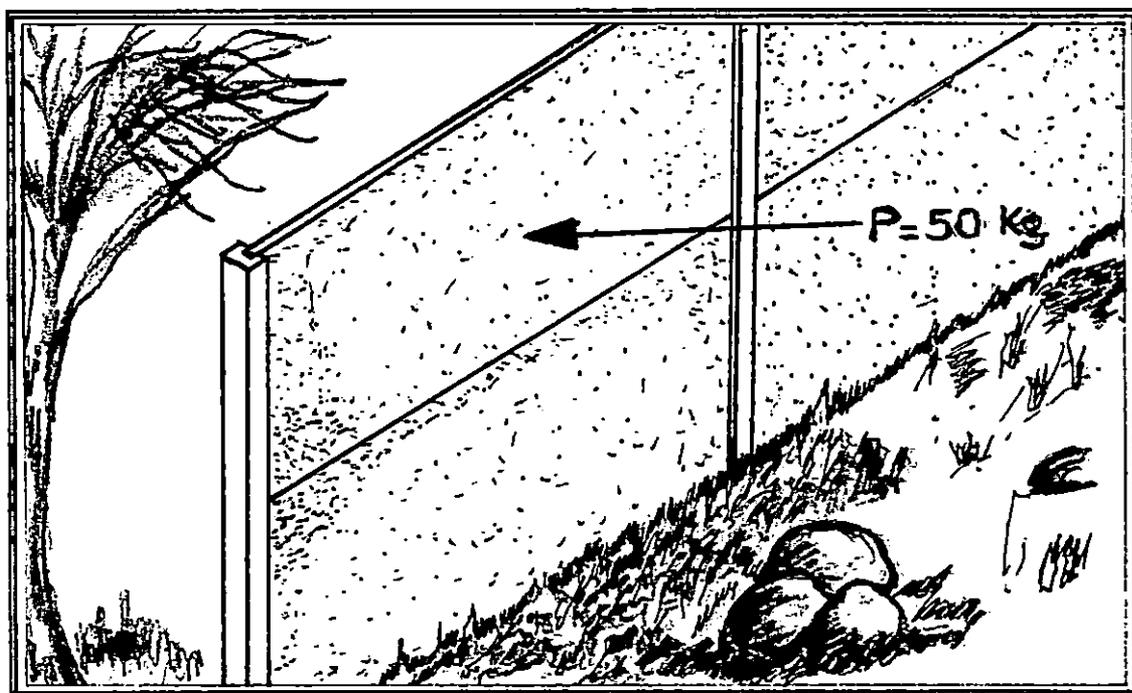
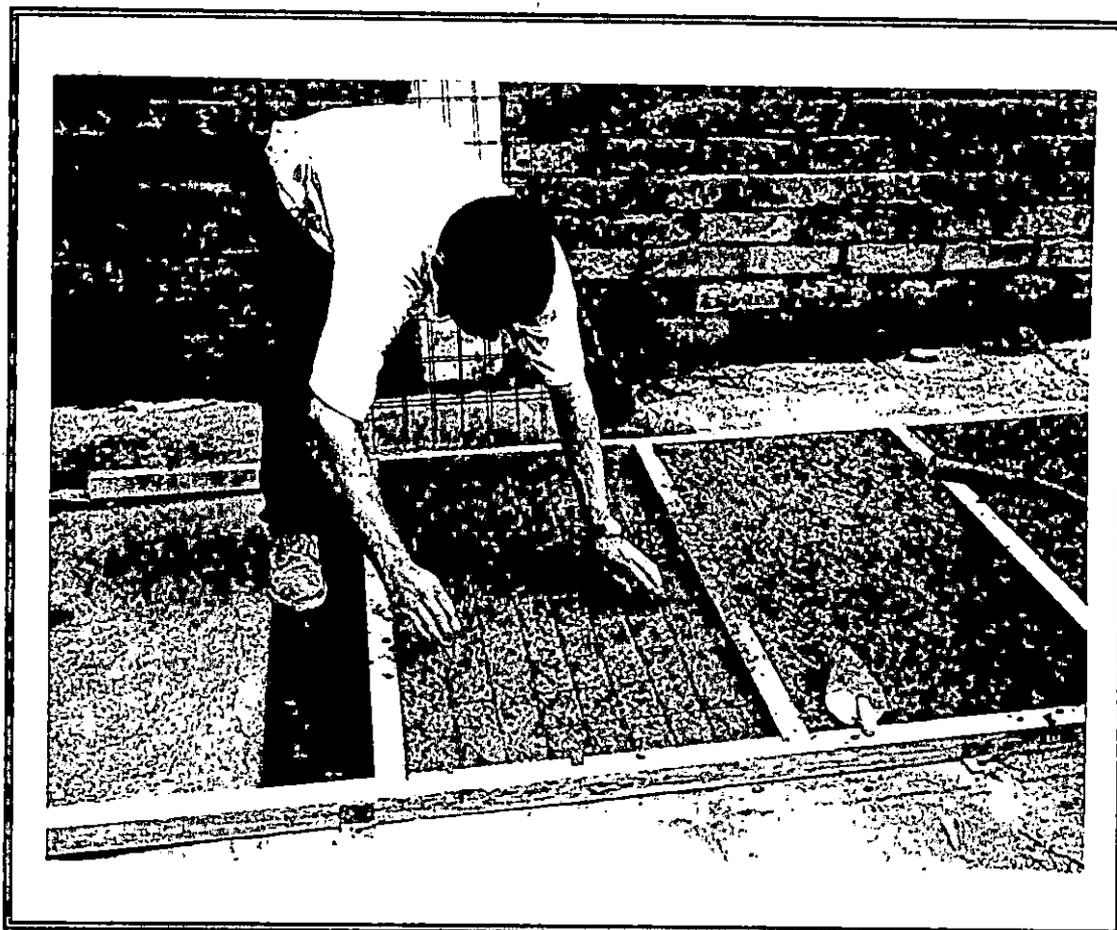


Figura IV.4 Loseta recibiendo una carga tipo impacto a los 28 días de edad.

2. Debido a que el uso al cual será destinado el elemento es para paredes o divisiones y que es indeterminado el lado de la loseta en la que se aplicará la carga en un instante dado, se colocará el acero de refuerzo al centro de la loseta. Ver

fotografía IV.5



Fotografía IV.5 Colocación del acero de refuerzo

3. El acero de refuerzo sujeto a flexión será diseñado de acuerdo a lo especificado en el Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado ACI 318-89; para lo cual se utilizarán dos tipos de refuerzo:

- Varilla lisa de 3.8 mm de diámetro.
- Estructomalla

La selección de estos refuerzos estuvo en función de:

- 1) El area de acero requerida.
- 2) Analizar ventajas y desventajas entre ambos tipos, considerando que:

- La estructomalla se fabrica con separaciones de 15 x 15 cms, por lo que para satisfacer el área de acero requerida se selecciona el diámetro conveniente dentro de los diferentes tipos que se fabrican.

- El refuerzo liso de diam= 3.8 mm se puede ajustar a la separación que se determine en el diseño.

- La resistencia a la flexión de los elementos con estos dos tipos de refuerzo.

4. Se asume que para el Hierro de diam=3.8 mm un $f_y = 2800$ kg/cm² y para la estructomalla un $f_y = 4930$ kg/cm², según lo refieren los respectivos proveedores.

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

En lo que respecta al presente estudio las especificaciones pertinentes establecidas en el ACI 318-89 se enuncian a continuación:

- 1) La carga última de diseño se calcula en base a la sección 9.2 del ACI 318-89, que deberá ser por lo menos igual a:

$$U = 1.4D + 1.7L \quad (1)$$

2) El factor de reducción de capacidad usado es obtenido en base a la sección 9.3 "Resistencia de diseño", siendo igual a 0.90.

3) La sección 7.6, "Límites para el espaciamiento del acero de refuerzo", en el numeral 5 especifica que el refuerzo principal por flexión no debe ser mayor de 3 veces el espesor de la losa, ni de 45 cm.

4) La sección 7.7, "Protección de concreto para el acero de refuerzo", establece que para concreto prefabricado debe proporcionarse un recubrimiento mínimo para concreto no expuesto a la acción del clima ni en contacto con el suelo de 1.5 cm; debiéndose aumentar en el caso del concreto de piedra pómez por su permeabilidad.

5) La sección 13.4 "Acero de refuerzo de la losa" establece que el acero de refuerzo para resistir los momentos en sistemas de losas de dos direcciones, no debe ser menor que el área de acero de refuerzo especificada en la sección 7.12; y que el espaciamiento del acero de refuerzo en las secciones críticas no debe exceder de 2 veces el peralte de la losa.

6) La sección 7.12 "Refuerzo por contracción y temperatura" especifica que deberá proporcionarse refuerzo normal al acero de refuerzo por flexión para resistir los esfuerzos por contracción y temperatura y que el acero de refuerzo por contracción y temperatura deberá proporcionar la siguiente relación de área de acero al área de sección total de concreto,

pero no será menor de 0.0014

- a) $\frac{A_s}{A_g} = 0.0020$ Malla formada con varilla lisa de 3.8 mm
- b) $\frac{A_s}{A_g} = 0.0018$ Electromalla de acero preestirado en frío

donde:

A_s = Area de acero de refuerzo

A_g = Area de sección total del concreto.

C) PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LOSETAS

Las losetas serán diseñadas siguiendo los lineamientos que establece el ACI 318-89.

El diseño estructural de los elementos se hará considerando una longitud de 2.0 m y 0.60 m de ancho (Ver ejemplo numérico en página siguiente); no obstante se fabricaron de 1.20 x 0.60 m para que, a partir de los resultados que se obtengan estimar teóricamente el comportamiento que presentará un elemento de mayor longitud.

C.1 DETERMINACION DE CARGA DE DISEÑO

Tomando como referencia el Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado ACI 318-89, el elemento se diseñará para

obtener resistencias de diseño en toda la sección al menos igual a la resistencia requerida calculada para las cargas factorizadas.

Las cargas de servicio que se ocuparán para el diseño del elemento, son la carga viva y la carga muerta y una carga debido a impacto, la carga muerta constituye el peso propio de la loseta, la carga viva de manipulación se considerará para este análisis como el 75% de la carga muerta, y la carga viva de funcionamiento se considerará como una carga de impacto (por loseta) de 50 Kg.

EJEMPLO NUMERICO

CONDICION 1

DATOS DE ENTRADA :

f'c 36hrs	=	60 kg/cm ²
Refuerzo	=	Ho. ϕ 3.8 mm
fy (ϕ =3.8 mm)	=	2800 kg/cm ²
Espesor	=	5 cm
Longitud	=	200 cm
Ancho	=	60 cm
Pv concreto	=	1330 gk/m ³

CARGAS

$$\text{PESO PROPIO} = \text{CM} = 1.00 \times 1.00 \times 0.05 \times 1330 = 66.50 \text{ Kg.}$$

$$\text{PESO DISTRIBUIDO} = w = \frac{66.50}{1.0} = 66.5 \text{ Kg/ml}$$

$$\text{CARGA VIVA} = \text{CV} = 75\% \text{ CM} = 0.75 \times 66.50 = 49.88 \text{ Kg/ml}$$

$$\begin{aligned} W_u &= 1.4D + 1.7L = 1.40(66.50) + 1.7(49.88) \\ W_u &= 177.89 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Momento Ultimo} \quad \mu_u = \frac{WuL^2}{8}$$

$$\mu_u = \frac{177.89(0.6)^2}{8} = 80.05 \text{ kg-m}$$

$$\mu_n = \frac{\mu_u}{0.9} = \frac{80.058}{0.9}$$

$$\mu_n = 88.94 \text{ Kg - m}$$

$$\text{Cuantía de refuerzo: } 0.59w^2 - w + \frac{\mu_n}{f'c \text{ } bd^2} = 0$$

$$0.59w^2 - w + \frac{889.4}{60 \cdot 100 \cdot 2.5^2} = 0$$

$$w = 0.024059$$

$$\text{Porcentaje de refuerzo: } \rho = \frac{wf'c}{2800} = \frac{0.024059 \cdot 60}{2800}$$

$$\rho = 0.000516$$

CONDICION 2

DATOS DE ENTRADA :

f'c 14 dias	= 98 kg/cm ²
Refuerzo	= Ho. ϕ 3.8 mm
fy (ϕ =3.8 mm)	= 2800 kg/cm ²
Espesor	= 5 cm
Longitud	= 200 cm
Ancho	= 60 cm
Pv concreto	= 1330 kg/m ³

CARGAS

$$\text{PESO PROPIO} = \text{CM} = 0.60 \cdot 1.00 \cdot 0.05 \cdot 1330 = 0.04 \text{ Ton.}$$

$$\text{PESO DISTRIBUIDO} = w = \frac{0.04}{1.00} = 0.04 \text{ Ton/ml}$$

$$\text{CARGA VIVA} = 75\% \text{ CM} = 0.75 * 0.04 = 0.03 \text{ Ton/m}$$

CARGA DE DISEÑO

$$W_u = 1.4D + 1.7L = 1.4(0.04) + 1.7(0.03)$$

$$W_u = 0.107 \text{ Ton/m}$$

Momento Ultimo $M_u = \frac{W_u L^2}{8}$

$$M_u = \frac{0.107(2)^2}{8} = 0.0535 \text{ Ton-m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0.9} = \frac{0.0535}{0.9}$$

$$M_n = 0.0591 \text{ Ton-m}$$

Cuantía de refuerzo: $0.59w^2 - w + \frac{M_n}{f'_c b d^2} = 0$

$$0.59w^2 - w + \frac{5940}{98 * 60 * 2.5^2} = 0$$

$$w = 0.1809$$

Porcentaje de refuerzo: $\rho = \frac{w f'_c}{2800} = \frac{0.1809 * 98}{2800}$

$$\rho = 0.00633$$

CONDICION 3

DATOS DE ENTRADA :

f'_c 28 dias	= 120 kg/cm ²
Refuerzo	= Ho. ϕ 3.8 mm
f_y ($\phi=3.8$ mm)	= 2800 kg/cm ²
Espesor	= 5 cm
Longitud	= 200 cm
Ancho	= 60 cm
Pv. concreto	= 1330 kg/m ³

CARGAS

$$\text{CARGA VIVA} = CV = 50 \text{ Kg} \quad Pu = 1.7 CV = 1.7 * 50 = 85 \text{ kg.}$$

$$\text{Momento Ultimo} \quad Mu = \frac{PuL}{4}$$

$$Mu = \frac{0.085 * 2.0}{4} = 0.04257 \text{ Ton-m}$$

$$Mn = \frac{Mu}{0.9} = \frac{0.0425}{0.9}$$

$$Mn = 0.0472 \text{ Ton-m}$$

$$\text{Cuantía de refuerzo:} \quad 0.59w^2 - w + \frac{Mn}{f'c \, bd^2} = 0$$

$$0.59w^2 - w + \frac{4720}{120 * 60 * 2.5^2} = 0$$

$$w = 0.1123$$

$$\text{Porcentaje de refuerzo:} \quad \rho = \frac{wf'c}{2800} = \frac{0.1123 * 120}{2800}$$

$$\rho = 0.00481$$

RESUMEN

$$\rho \text{ (36 Horas)} = 0.000516$$

$$\rho \text{ (14 días)} = 0.00633$$

$$\rho \text{ (28 días)} = 0.00481$$

PORCENTAJES DE REFUERZO A UTILIZAR

ACERO TRANSVERSAL

Se utilizará $\rho_{min} = 0.004$ por ser el porcentaje de refuerzo a

las 36 horas de edad donde el elemento trabaja a flexión con ρ requerido menor que el ρ_{\min} .

ACERO LONGITUDINAL

Se utilizará $\rho = 0.00633$ por ser este mayor que $\rho_{\min} = 0.004$

DISEÑO DE SEPARACION DE ACERO DE REFUERZO

LONGITUDINAL

$$A_s = \rho b d = 0.00633 * 0.60 * 2.5 = 0.9495 \text{ CM}^2$$

$$\text{No. VARILLAS} = \frac{0.9495}{0.105} = 9.04 \text{ varillas aprox. 9 varillas}$$

$$\text{No. espacios} = 8$$

Espaciamiento:

Longitud	60 cm
Recubrimiento	2 cm lateral
Longitud disponible:	56 cm

$$\frac{56}{8} = 7 \text{ cm}$$

ACERO ϕ 3.8 mm @ 7 cm

TRANSVERSAL

$$A_s = \rho b d = 0.004 * 200 * 2.5 = 2 \text{ cm}^2$$

$$\text{No. VARILLAS} = \frac{2}{0.105} = 19.05 \text{ varillas aprox. 20 varillas}$$

$$\text{No. espacios} = 19$$

Espaciamiento:

Longitud 200 cm
 Recubrimiento 2 cm lateral
 Longitud disponible: 196 cm

$$\frac{196}{19} = 10.31 \text{ cm}$$

ACERO ϕ 3.8 mm @ 10.25 cm

C.2 DETERMINACION DE CUANTIA DE REFUERZO

TABLA IV.1
 PORCENTAJE DE REFUERZO REQUERIDO
 ATENDIENDO EL ESPESOR DE LAS LOSETAS

ESPESOR ELEMENTO (CM)	TIPO DE REFUERZO	PORCENTAJE DE REFUERZO		
		CONDICION 1	CONDICION 2	CONDICION 3
5	Ho. ϕ 3.8 mm	0.000516	0.00633	0.00481
5	ESTRUCTOMALLA 6" x 6" 8/8	0.000293	0.0036	0.0027
7	Ho. ϕ 3.8 mm	0.000367	0.00435	0.00237
7	ESTRUCTOMALLA 6" x 6" 8/8	0.000208	0.00247	0.00135

CONDICION 1: Loseta diseñada por flexión en el lado corto

CONDICION 2 Y 3: Loseta diseñada por flexión en el lado

largo

TABLA IV.2
PORCENTAJE DE REFUERZO DE DISEÑO
ATENDIENDO EL ESPESOR DE LAS LOSETAS

ESPESOR ELEMENTO (CM)	TIPO DE REFUERZO	PORCENTAJE DE DISEÑO	
		LONGITUDINAL	TRANSVERSAL
5	Ho. ϕ 3.8 mm	0.00633	0.004 **
5	ESTRUCTOMALLA 6" x 6" 8/8	0.0036	0.0036 *
7	Ho. ϕ 3.8 mm	0.00435	0.004 **
7	ESTRUCTOMALLA 6" x 6" 8/8	0.00247	0.00247

** Acero mínimo ACI 318-89 Sección 7.12.2.1.a ($A_s/A_g=0.002$)

* Acero mínimo ACI 318-89 Sección 7.12.2.1.b ($A_s/A_g=0.0018$)

4.2.3.2 DISTRIBUCION

Los resultados obtenidos en lo que se refiere a la distribución del acero de refuerzo para las losetas de espesores de 5 y 7 cm con refuerzo de acero de 3.8 mm de diámetro y estructomalla se muestran en el cuadro a continuación:

TABLA IV.3
TIPO Y DISTRIBUCION DE ACERO DE REFUERZO
ATENDIENDO EL ESPESOR DE LAS LOSETAS

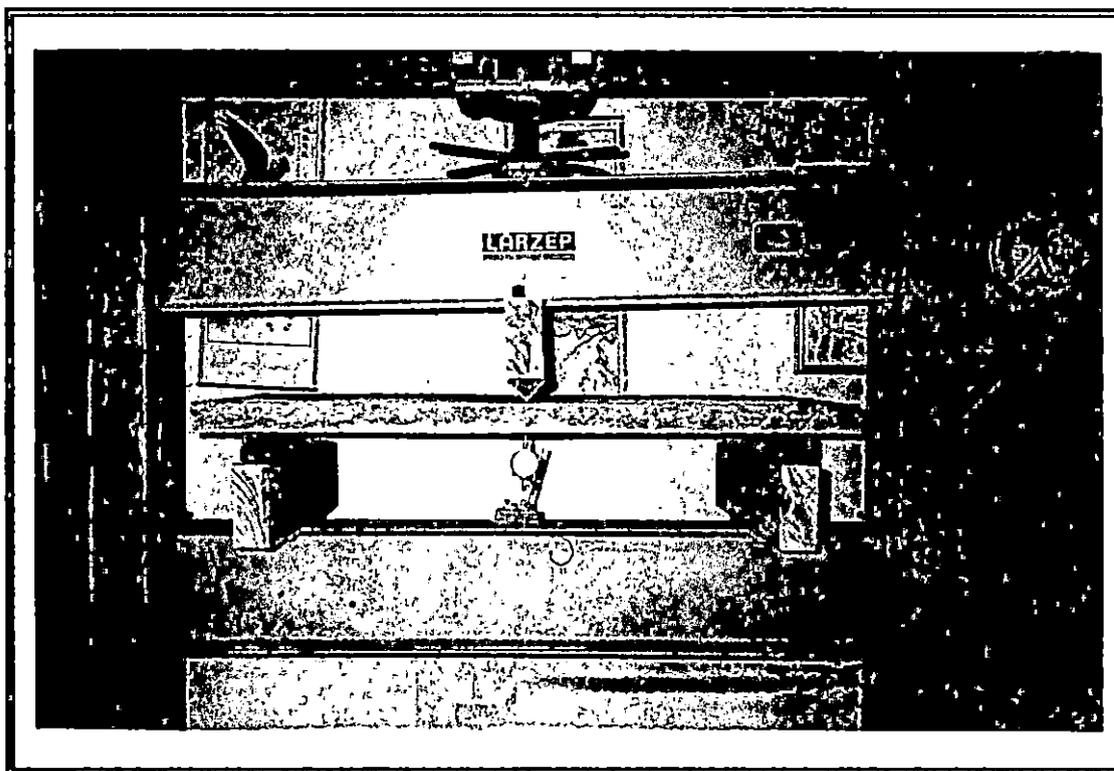
ESPESOR ELEMENTO (CM)	TIPO DE REFUERZO	SEPARACION (CM)	
		LONGITUDINAL	TRANSVERSAL
5	Ho. ϕ 3.8 mm	7	10.25
5	ESTRUCTOMALLA 6" x 6" 8/8	15	15
7	Ho. ϕ 3.8 mm	7	7.50
7	ESTRUCTOMALLA 6" x 6" 8/8	15	15

4.2.4 ENSAYO DE LOSETA DE PRUEBA

Como en todo diseño estructural, las losetas fueron diseñadas para resistir efectos máximos de las cargas factorizadas que fueron considerados en el numeral 4.2.2, bajo la consideración que tendrán una rigidez adecuada a fin de limitar una deflexión excesiva que pudiera adversar la resistencia o la condición de servicio para la que se destinará el elemento.

4.2.4.1 FLEXION

Las losetas fueron sometidas a un ensayo de flexión en la máquina PT - 15, como puede mostrarse en la Fotografía IV.6.



Fotografía IV.6 Máquina PT - 15

La condición de apoyo fue dispuesta de tal forma que se tuviera la condición simplemente apoyada con carga puntual al centro del claro, teniendo un margen de 10 cm en cada extremo.

La carga fue aplicada continuamente tomándose las deflexiones a cada cincuenta kilogramos de incremento de carga hasta llegar a la carga de agrietamiento. Para medir las deformaciones se utilizó un deformímetro de 0.001 Plg

4.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS

En base a observaciones y resultados obtenidos en los ensayos a flexión de las losetas prefabricadas, se puede concluir lo siguiente:

- REFUERZO

Con los dos tipos de refuerzos empleados en la fabricación de los elementos, se cubrió la exigencia de acero que demandó el diseño, la separación del refuerzo para cada tipo fue función del diámetro de varilla empleado (Ver Tabla IV.3). Para el caso de la estructomalla, por ser ésta fabricada a espacios de 15 x 15 cm, tuvo que seleccionarse un diámetro de $\phi = 4.11$ mm para satisfacer el área de acero requerida.

La estructomalla ofrece algunas ventajas en su empleo, por

el hecho de ser electrosoldada hace que el armado sea más preciso y no se deforme durante el colado, a la vez que ahorra costos de armadura.

- RESISTENCIA A LA FLEXION

De las Tablas IV.4 y Tabla IV.5 de las páginas 118 y 119 puede observarse que:

a. La carga promedio de agrietamiento que soportan los elementos con espesor de 5 cm con refuerzo de $\phi = 3.8$ mm y estructomalla $\phi = 4.11$ mm fue de 350 Kg a los 28 días de edad.

b. La ganancia de resistencia de los 14 a los 28 días fue de 50 Kg la cual puede atribuirse al hecho de que se emplearon varillas lisas que tuvieron poca adherencia con el concreto.

c. Para los elementos con espesor de 7 cms, la carga promedio de agrietamiento fue de 600 Kg con refuerzo de $\phi = 3.8$ mm y 650 Kg utilizando estructomalla como refuerzo.

d. En todos los especímenes ensayados se pudo observar que los elementos tienden a recuperar su posición original una vez se les ha retirado la carga, por lo que puede decirse que los elementos tienen un comportamiento elástico.

e. Las resistencias obtenidas son satisfactorias si son comparadas contra las que presentan algunos elementos

comerciales con espesores similares que fueron ensayados en el laboratorio y cuyos resultados se presentan en el siguiente cuadro:

**CUADRO COMPARATIVO DE RESISTENCIA
DE ALGUNOS ELEMENTOS COMERCIALES
CON EL FABRICADO EN ESTE ESTUDIO**

ELEMENTO	LONG M	ANCHO M	ESPESOR M	RESIST. A FLEXION
LOSETA C/R DE PESO NORMAL *	1.20	0.50	0.05	175 KG
LOSETA C/R DE PESO NORMAL **	1.20	0.25	0.04	75 KG
LOSETA C/R DE PESO LIGERO (POMEZ)	1.20	0.60	0.05	350 KG

C/R = Concreto Reforzado

* = Fabricante MONOLIT

** = Fabricante PREFASA

Nótese que la resistencia de los elementos fabricados en este estudio, duplica la alcanzada por los elementos comerciales.

ANALISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE ELEMENTOS DE 2.00 METROS DE LONGITUD A PARTIR DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO EN LOSETAS DE PRUEBA DE 1.20 M, CON LONGITUD ENTRE APOYOS DE 1.00 M

ANALISIS PARA UNA LOSETA DE 7 CM DE ESPESOR:

- MOMENTO RESISTENTE

CARGA DE AGRIETAMIENTO = 500 kg

LONGITUD ENTRE APOYOS = 1.00 m

$$\text{Luego: } M_r = \frac{wL^2}{8} + \frac{PL}{4} = \frac{56.0 * (1)^2}{8} + \frac{500 * 1}{4}$$

$$M_r = 132.0 \text{ Kg-m}$$

CARGA QUE PODRA RESISTIR UN ELEMENTO DE 2 M DE LONGITUD

$$132.0 = \frac{56.0 * (2)^2}{8} + \frac{P * 2}{4}$$

LUEGO TENEMOS QUE:

$$P = 2 \left[(132.0 \text{ kg-m}) - \frac{56.0 * (2)^2}{8} \right]$$

$$\text{DONDE } P = 208.0 \text{ kg}$$

ANALISIS PARA UNA LOSETA DE 5 CM DE ESPESOR:

- MOMENTO RESISTENTE

CARGA DE AGRIETAMIENTO = 300 kg

LONGITUD ENTRE APOYOS = 1.00 m

$$\text{Luego: } M_r = \frac{wL^2}{8} + \frac{PL}{4} = \frac{40 * (1)^2}{8} + \frac{300 * 1}{4}$$

$$M_r = 80.0 \text{ Kg-m}$$

CARGA QUE PODRA RESISTIR UN ELEMENTO DE 2 M DE LONGITUD

$$80.00 = \frac{40 * (2)^2}{8} + \frac{P * 2}{4}$$

LUEGO TENEMOS QUE:

$$P = 2 \left[(80.00 \text{ kg-m}) - \frac{40.00 * (2)^2}{8} \right]$$

$$\text{DONDE } P = 120 \text{ kg}$$

Puede observarse del análisis anterior que a partir de los.

resultados que se obtuvieron al ensayar losetas de 1.20 x 0.60 mts, al hacer las correlaciones de estos resultados para un elemento de 2.0 mts la carga resultante (208 kg para espesor $e= 7$ cm y 120 kg para espesor $e= 5$ cms) satisface conservadoramente la carga empleada en el diseño cuya magnitud amplificada fue de 85 kg. Nótese que para la loseta de 7 cm de espesor, la carga resultante es un 245% mayor que la carga considerada en el diseño lo cual la hace demasiado sobrada para los fines aquí estudiados, no obstante, puede ser utilizada con otros fines donde se requiera una mayor resistencia.

f. Para efectos de fabricación con fines comerciales, se recomiendan las losetas con espesor de 5 cms ya que para las condiciones de carga analizadas, la loseta de 7 cm proporciona una resistencia muy sobrada además de ser más pesada resultaría de mayor costo.

TABLA IV. 4

RESULTADO DE PRUEBA DE FLEXION DE LOSETAS																
CARGA Kg	ESPEJOR :	5 CM			ESPEJOR :	5 CM			ESPEJOR :	5 CM			ESPEJOR :	5 CM		
	REFUERZO:	Ho.3.8 m			REFUERZO:	Ho. 3.8			REFUERZO:	ESTRUC			REFUERZO:	ESTRUC		
	FECHA COLADO:	13/5/95			FECHA COLADO:	13/5/95			FECHA COLADO:	11/5/95			FECHA COLADO:	11/5/95		
	FECHA RUPTURA:	27/5/95			FECHA RUPTURA:	10/6/95			FECHA RUPTURA:	25/5/95			FECHA RUPTURA:	8/6/95		
EDAD:	14 DIAS			EDAD:	28 DIAS			EDAD:	14 DIAS			EDAD:	28 DIAS			
FLECHA MAXIMA EN MILESIMAS DE PULGADA																
ELEMENTOS			ELEMENTOS			ELEMENTOS			ELEMENTOS							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
50	3	2	4	1	4	4	2	2	4	1	1	3				
100	10	8	14	7	11	13	9	13	13	9	5	12				
150	20	17	21	13	18	18	14	18	19	18	12	18				
200	28	23	30	23	27	27	20	28	26	22	36	25				
250	37	30	45	29	34	35	28	34	34	30	38	30				
300	45	45	50	36	40	45	35	42	42	38	45	45				
350	52		60	44	54	53				44	53	51				
400				49		57										

TABLA IV. 5

RESULTADO DE PRUEBA DE FLEXION DE LOSETAS												
CARGA Kg	ESPESOR : 7 CM REFUERZO: Ho. 3.8 FECHA COLADO: 13/5/95 FECHA RUPTURA: 27/5/95 EDAD: 14 DIAS			ESPESOR : 7 CM REFUERZO: Ho. 3.8 FECHA COLADO: 13/5/95 FECHA RUPTURA: 10/6/95 EDAD: 28 DIAS			ESPESOR : 7 CM REFUERZO: ESTRUC FECHA COLADO: 11/5/95 FECHA RUPTURA: 25/5/95 EDAD: 14 DIAS			ESPESOR : 7 CM REFUERZO: ESTRUC FECHA COLADO: 11/5/95 FECHA RUPTURA: 8/6/95 EDAD: 28 DIAS		
	FLECHA MAXIMA EN MILESIMAS DE PULGADA											
	ELEMENTOS			ELEMENTOS			ELEMENTOS			ELEMENTOS		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	4	2	5	3	3	3	2	1	4	3	2	1
100	10	7	12	7	9	7	6	6	8	9	8	4
150	12	10	17	12	13	11	9	10	12	11	13	6
200	16	13	24	15	17	15	12	14	16	15	17	12
250	21	18	28	20	22	20	15	21	21	21	20	15
300	24	21	34	25	25	24	20	30	24	24	24	19
350	27	24	39	28	28	27	23	38	28	27	28	22
400	31	28	44	32	33	30	26	42	32	31	32	25
450	34	30	51	36	37	33	30	45	34	35	35	28
500	37	34	55	40	43	37	32	47	37	40	38	31
550	40			45	46	40	37	52	40	45	42	33
600				47	51	45	41			47	45	38
625				49		47						
650										57	49	40

GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPEJOR: 5 CM EDAD: 28 DIAS

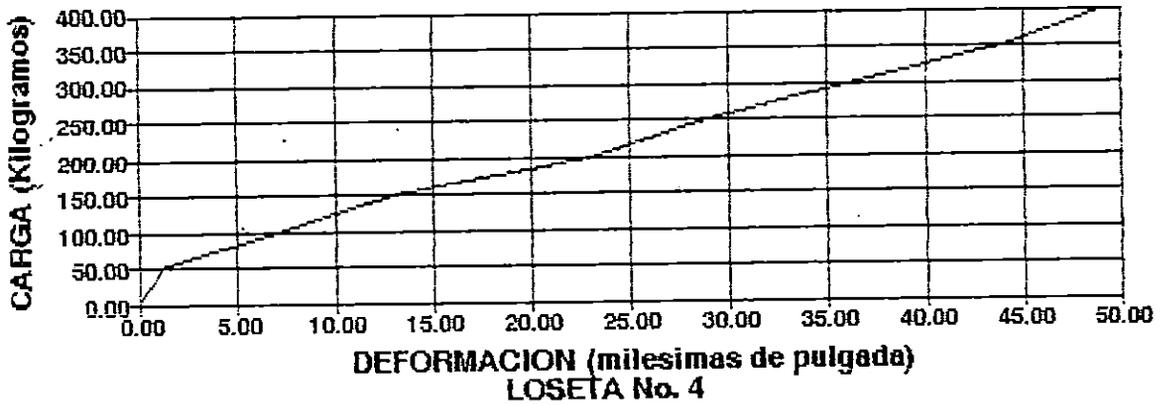


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPEJOR: 5 CM EDAD: 28 DIAS

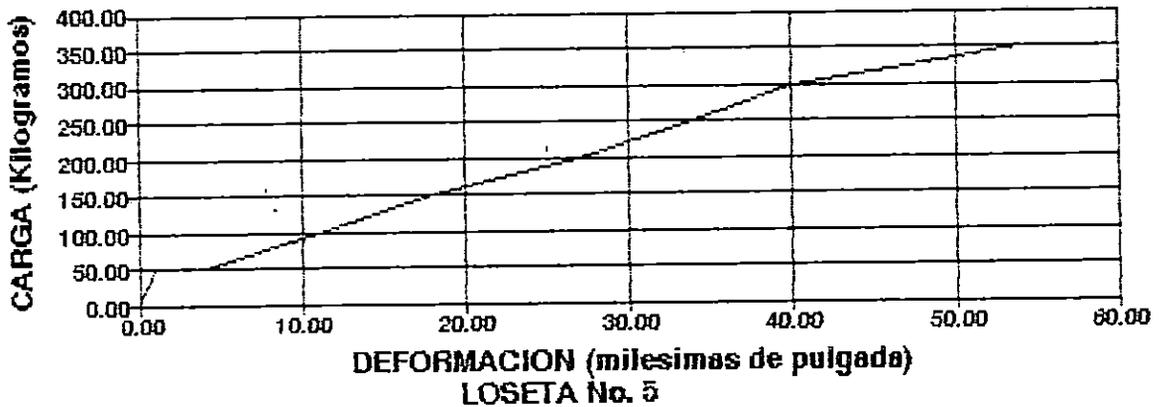


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPEJOR: 5 CM EDAD: 28 DIAS

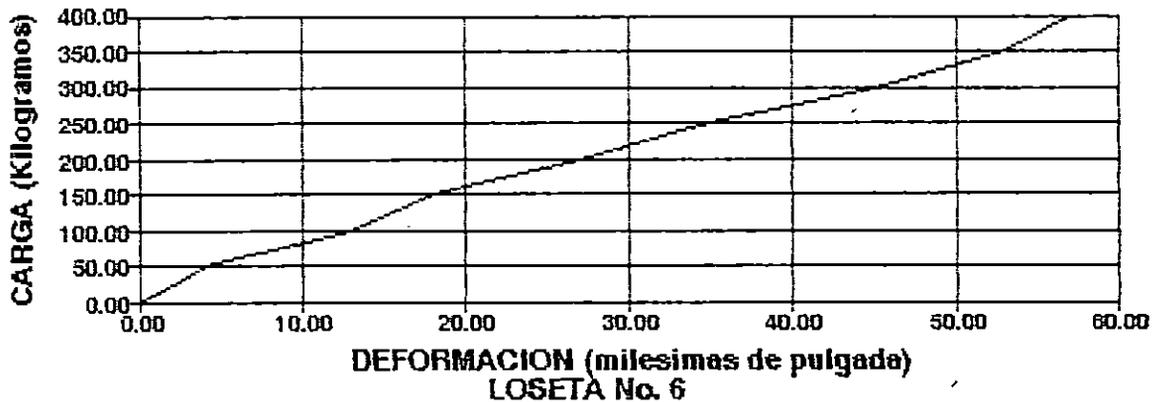


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPEJOR: 5 CM **EDAD: 28 DIAS**

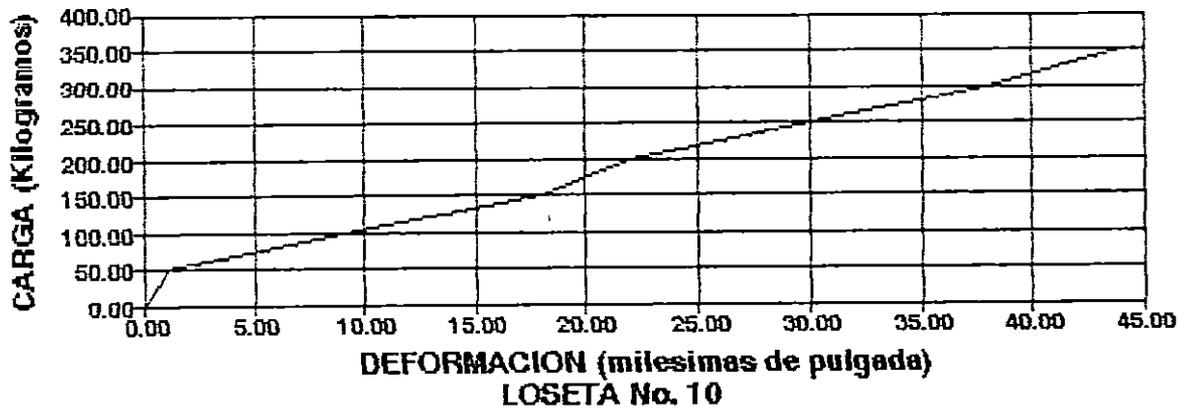


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPEJOR: 5 CM **EDAD: 28 DIAS**

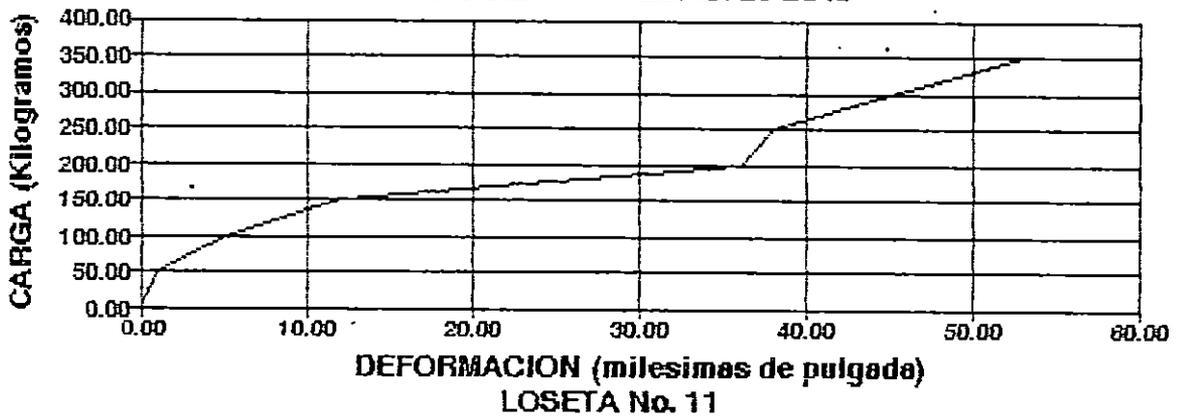


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPEJOR: 5 CM **EDAD: 28 DIAS**

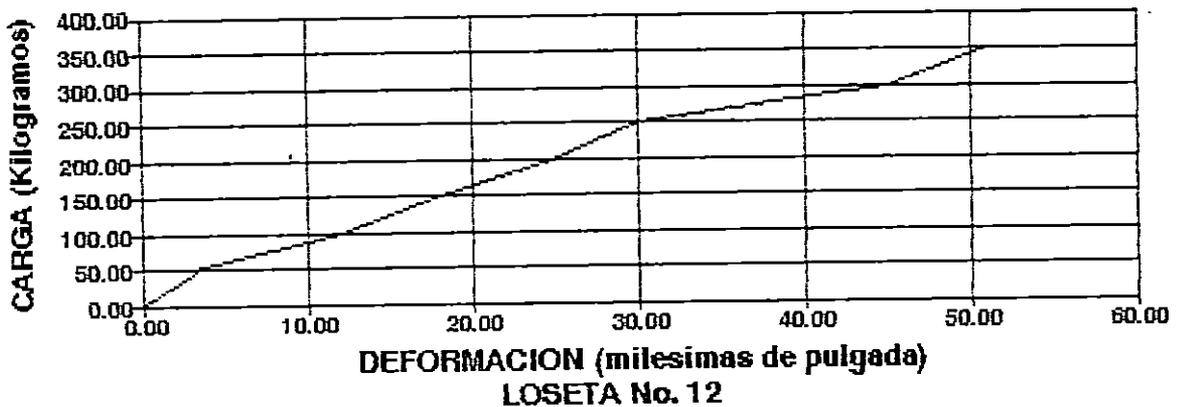


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPESOR: 7 CM EDAD: 28 DIAS

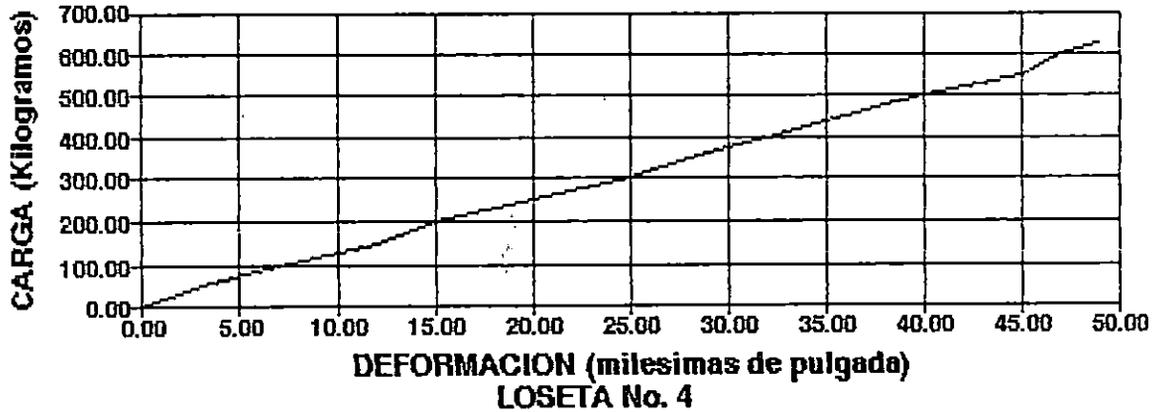


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPESOR: 7 CM EDAD: 28 DIAS

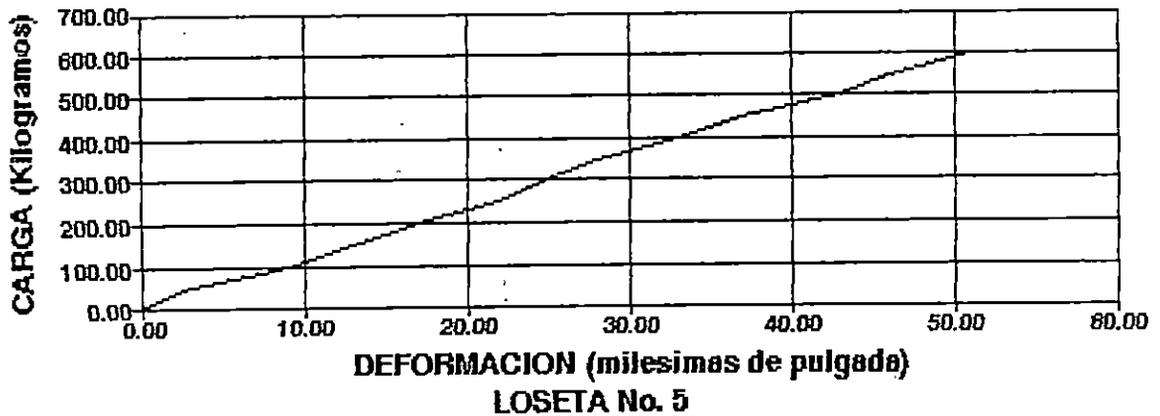


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPESOR: 7 CM EDAD: 28 DIAS

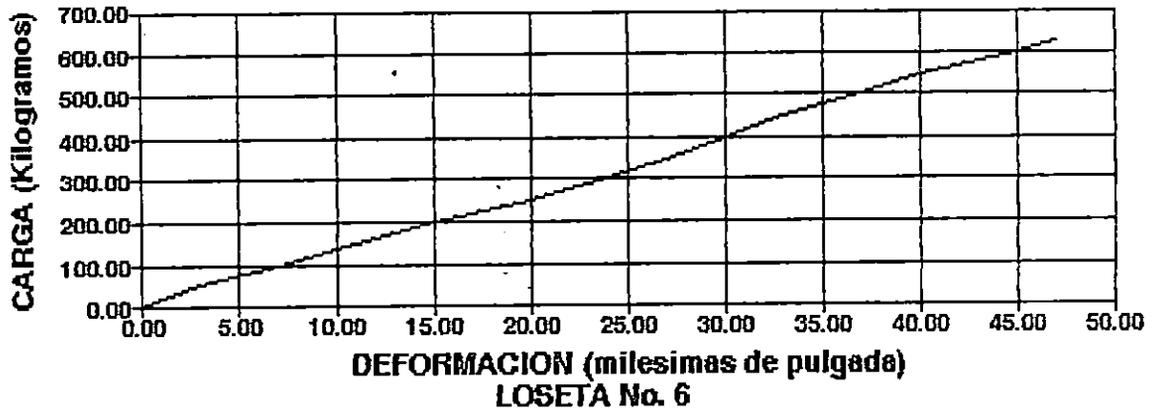


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPESOR: 7 CM **EDAD: 28 DIAS**

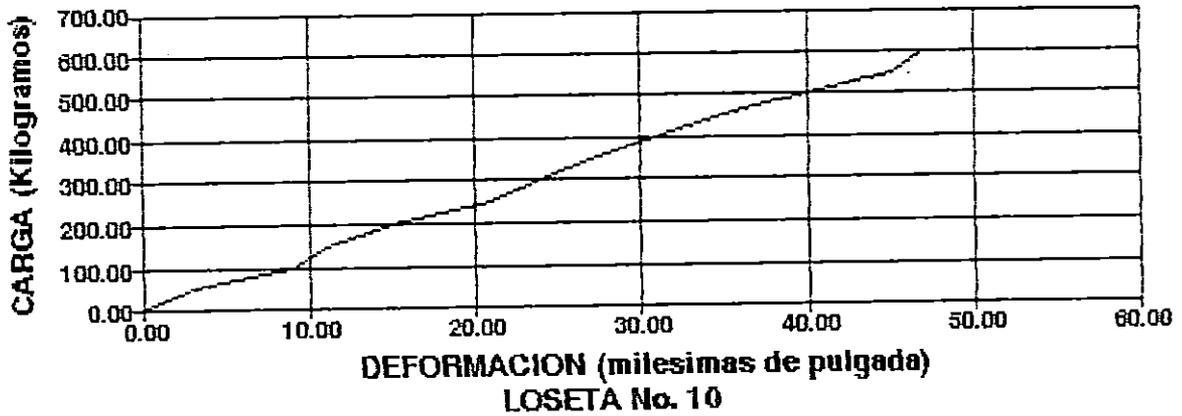


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPESOR: 7 CM **EDAD: 28 DIAS**

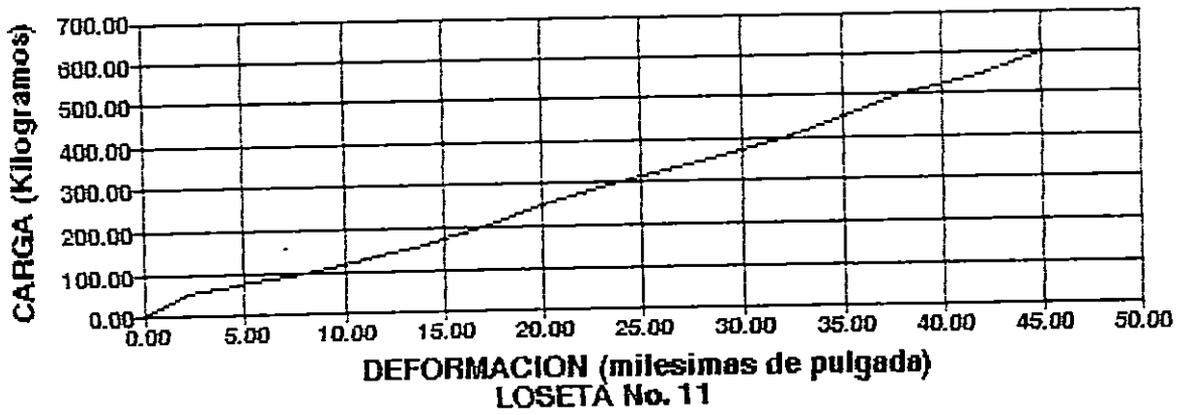
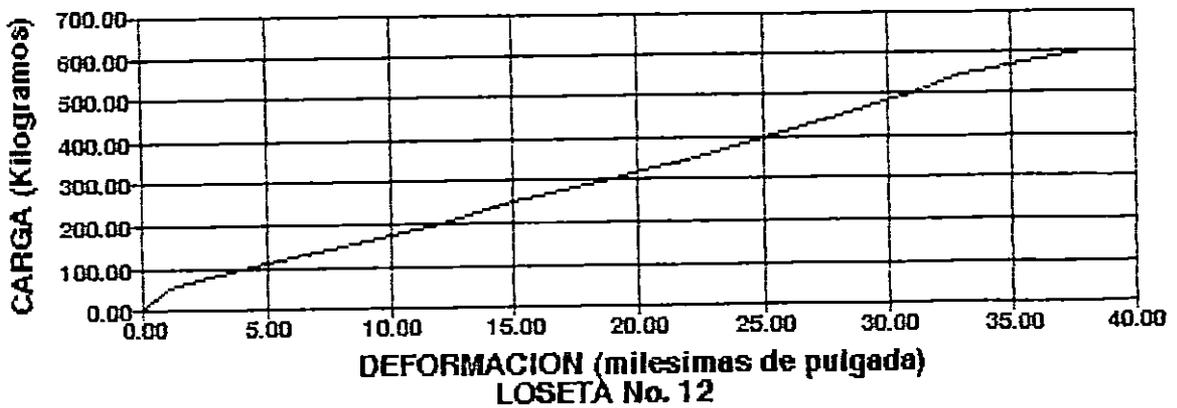


GRAFICO CARGA-DEFORMACION
ESPESOR: 7 CM **EDAD: 28 DIAS**



CAPITULO V

CONSEJOS PRACTICOS PARA EL USO DE LAS LOSETAS

En base a lo observado acerca de la movilización de las losetas de prueba y la experiencia ganada en campo se presentan a continuación algunos consejos que de alguna manera ayudarán a solventar la problemática observada en elementos prefabricados existentes en el mercado y que pueden aplicarse al elemento que se fabricó en este estudio.

5.1 MANEJO

Antes de proceder a movilizar los elementos prefabricados, será preciso asegurarse de tener preparado el lugar donde serán nuevamente colocados.

Los elementos han sido diseñados para ser levantados rotándolos apoyados sobre su eje mayor y sometiénolo a flexión en la dimensión menor, a las 36 horas de haberse realizado el colado (Ver figura V.1). Levantando los elementos a esta edad se podrá efectuar colados cada dos días ya que se dispondrá de un día de por medio para realizar actividades de desmoldado, limpieza y engrase de moldes y preparar la zona de colado, con lo cual la producción será mayor.



FIGURA V.1 FORMA CORRECTA DE LEVANTAR EL ELEMENTO

5.2 CURADO

En el período de 36 horas en que las losetas permanecen en el lugar de colado se les deberá aplicar curado de riego por aspersión combinando con cubiertas mojadas; transcurrido este tiempo, los elementos deberán ser trasladados a las zonas de curado compuesta por pilas construidas en el lugar donde se les aplicará curado por inmersión por un tiempo de 14 días como mínimo (tiempo en que se asume que la loseta podría ser comercializada).

El traslado de los elementos a las zonas de curado será

colocándolos de canto con su longitud mayor horizontal y la menor vertical, como se muestra en la figura V.2. Nótese que el elemento es sujetado en el sentido que proporciona equilibrio y al mismo tiempo una mayor inercia, evitando así que el elemento sufra algún tipo de daño debido a esfuerzos inducidos durante el traslado.

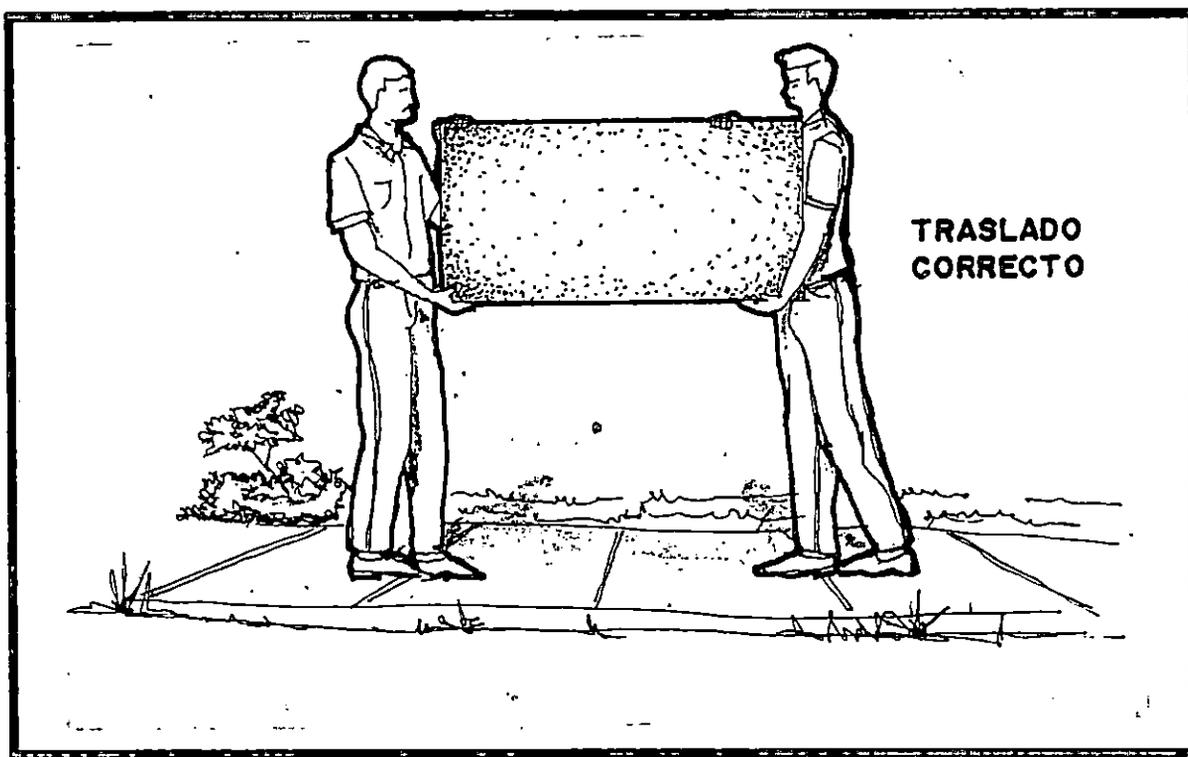


FIGURA V.2 FORMA CORRECTA DE TRASLADO

Si bien es cierto que en el diseño estructural de los elementos se ha previsto la posibilidad de que a los 14 días los elementos sean sometidos a un mal manejo, como el mostrado en la Figura V.3, se recomienda evitar esta situación.

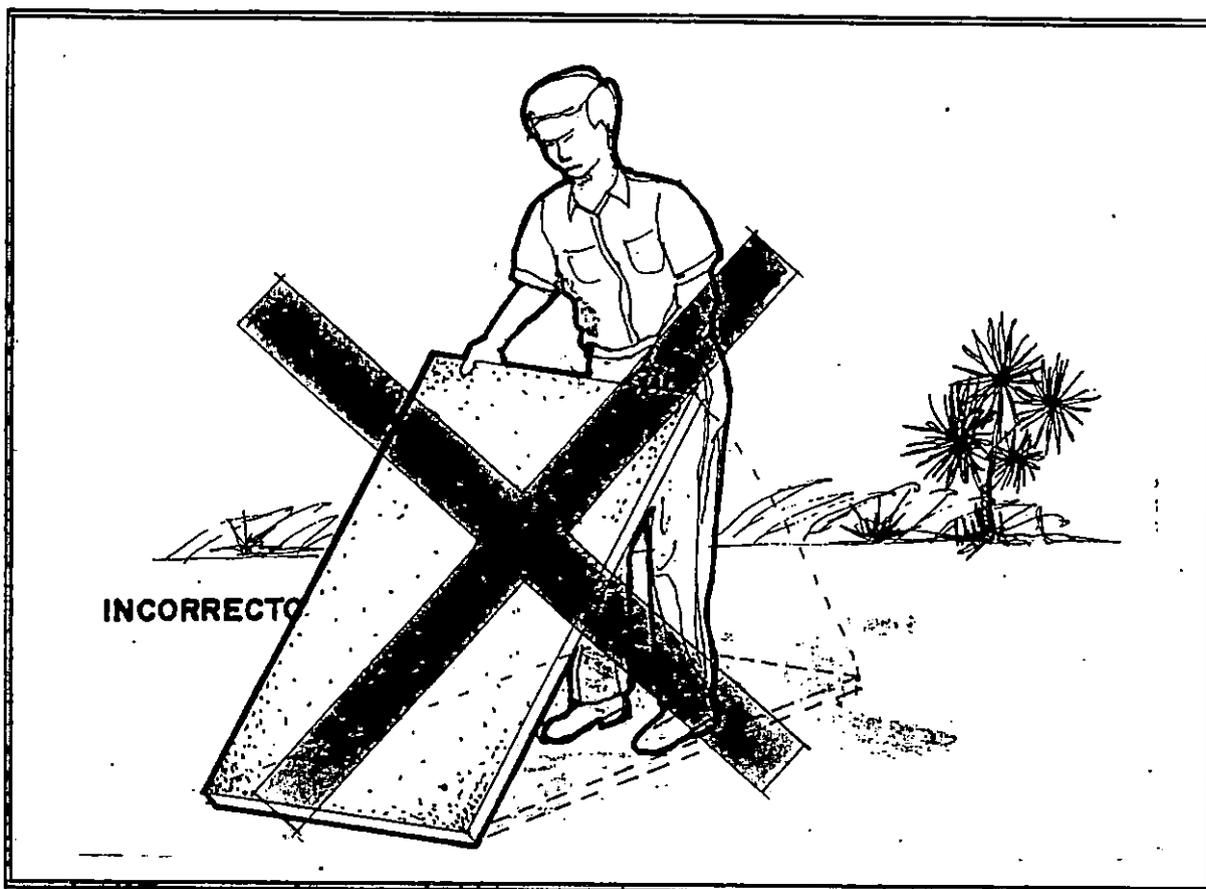


FIGURA V.3 FORMA INCORRECTA DE LEVANTAR LA LOSETA

5.3 ALMACENAMIENTO

El almacenamiento de los elementos debe hacerse con sumo cuidado. Se deberán proteger los elementos de posibles daños en las aristas y esquinas. Para tal efecto se recomienda colocar los elementos sobre tarimas de madera de acuerdo a las dimensiones de los elementos, las que deberán estar levantadas de la superficie unos 5 cms por medio de una costanera a fin de evitar que estén en contacto con el suelo y se conserven limpias

y secas.

Las losetas deberán almacenarse colocándose de canto como se muestra en la figura V.4 . No es recomendable colocar las losetas en posición de lazo o estibadas unas sobre otras ya que por tener pequeñas irregularidades se genera flexión y esta puede sobrepasar la capacidad de la loseta dañándola permanentemente.

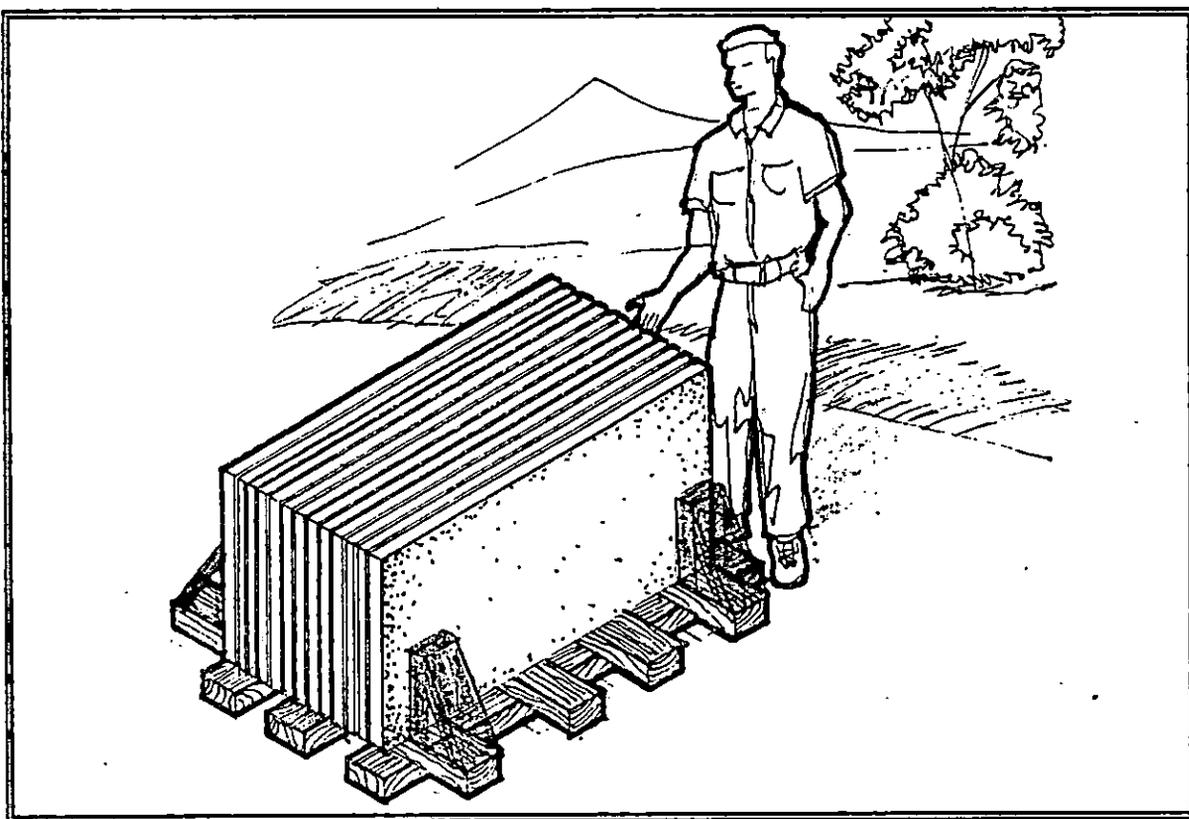


FIGURA V.4 FORMA RECOMENDADA PARA ALMACENAR LOSETAS

5.4 TRANSPORTE

El cuidado en el transporte de la loseta desde el lugar de

fabricación hasta el lugar de montaje es muy importante. El vehículo donde se efectúe el transporte de las losetas deberá de estar provisto de apoyo lateral de tal forma que no se inclinen hacia los lados y reciban algún tipo de golpe contra la pared del vehículo y ocasionen roturas en las aristas de las losetas. La Figura V.5 muestra como las losetas serán transportadas (en posición de canto). La parte donde apoyará la loseta en el camión deberá estar provista de especies de largueros sobre los cuales descansarán los elementos.

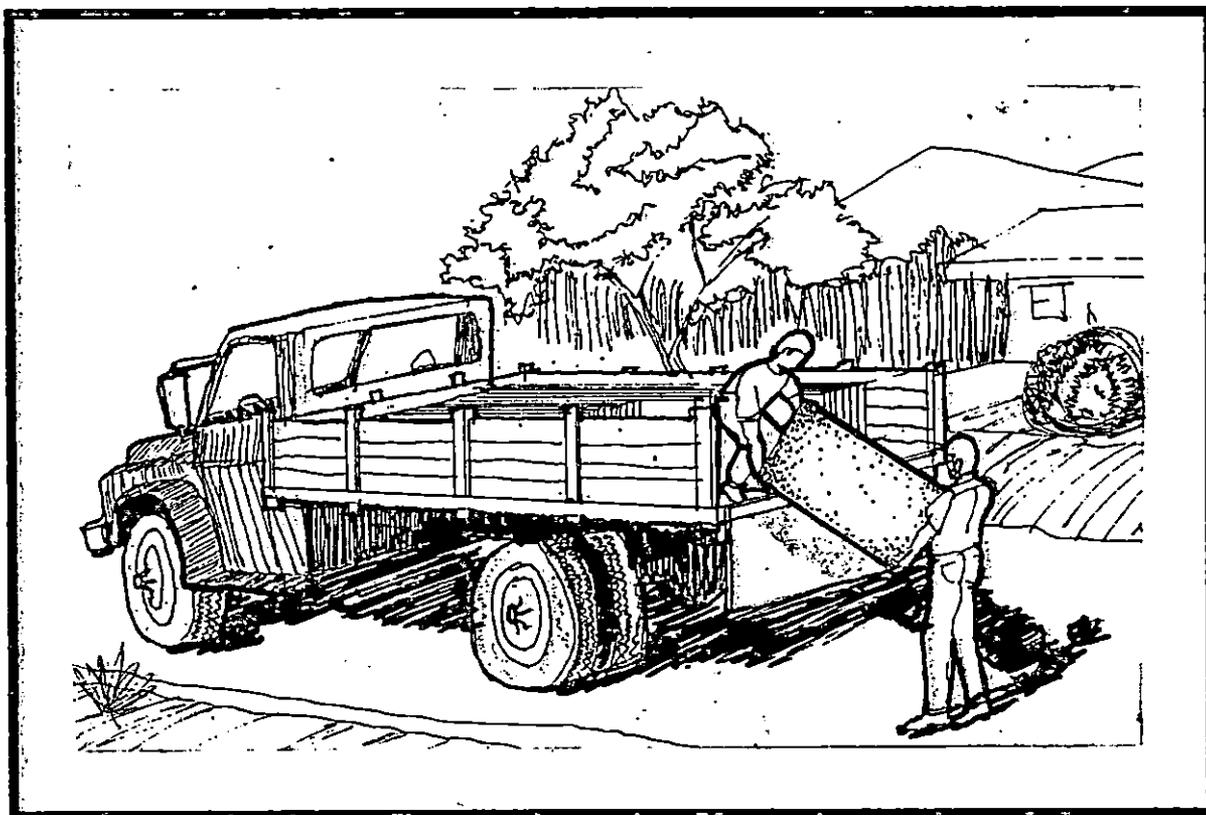


FIGURA V.5 FORMA DE TRANSPORTAR LOS ELEMENTOS

5.5 MONTAJE

El montaje de los elementos se refiere al proceso de unión o ensamblaje de las piezas, que han sido diseñadas para facilitar esta operación.

Se entenderá que el montaje de los elementos es la sencilla operación de colocar un elemento sobre la parte superior de otro, para cumplir la función para la cual han sido fabricados. Los elementos realizados en este estudio permiten un montaje manual, puede entonces disponerse de un sistema de andamios y un trípode para ensamblar las piezas como se muestra en la Figura V.6, permitiendo que durante la colocación se realice cualquier ajuste a las losetas como nivelación, retiro de imperfecciones (rebaba), etc, con el fin de que las piezas tengan un ensamble adecuado.

Los postes donde serán ensambladas las losetas puede ser como el mostrado en la figura V.7, el cual podría ser cimentado como una columna aislada con altura variable que dependerá de su ubicación en la vivienda y rigidizado por una solera de coronamiento.

Se deberá tomar en cuenta que donde se vayan a instalar puertas o ventanas, el espacio generado por este elemento deberá estar delimitado por dos postes.

Para generar la pendiente en los techos pueden construirse losetas acuchilladas como la mostrada en la Figura V.8, debiendo realizar ensayos previos para determinar su comportamiento. También se muestra en esta figura una alternativa de junta para facilitar el ensamble de los elementos.

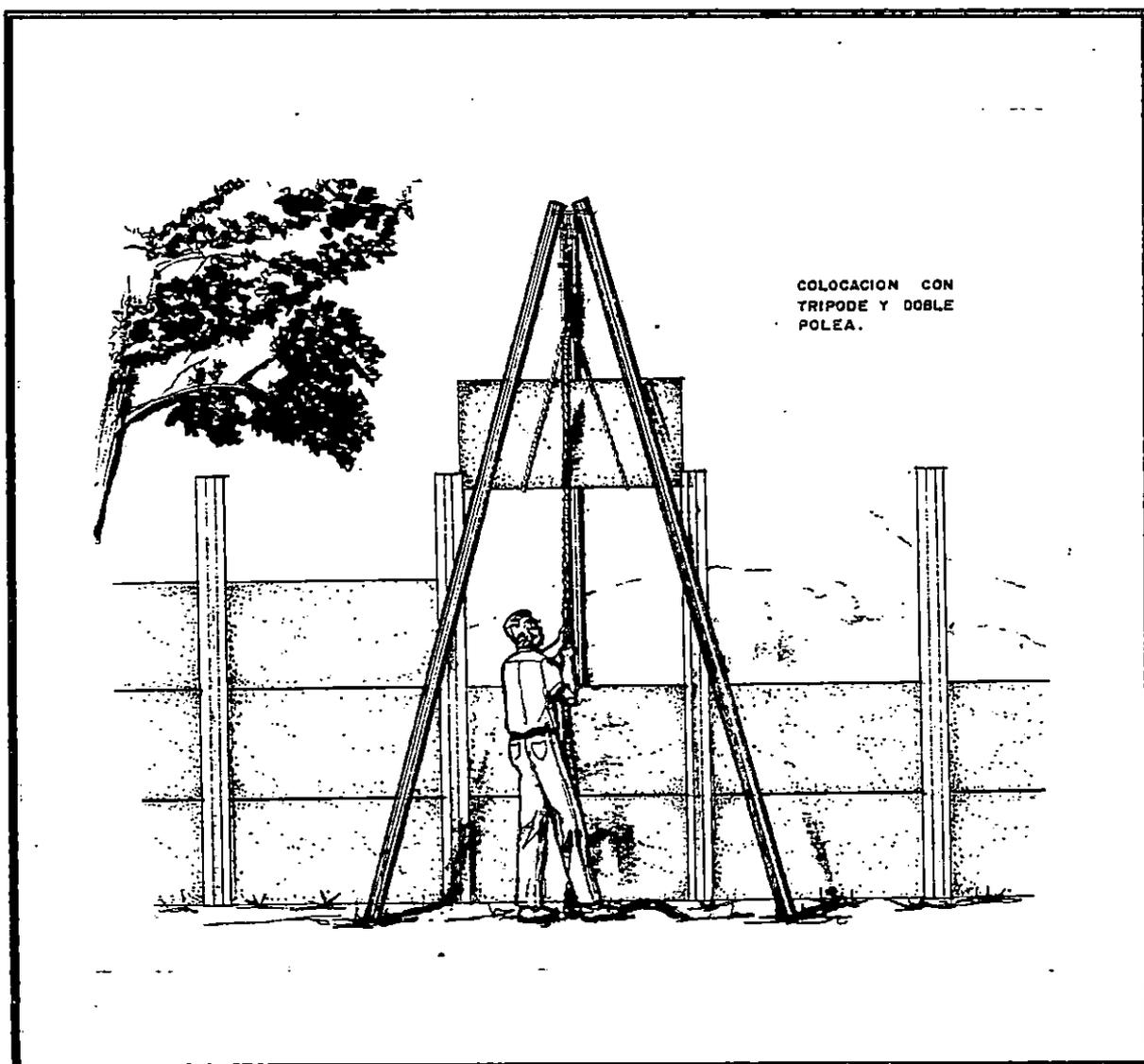


Figura V.6 Alternativa de montaje de losetas

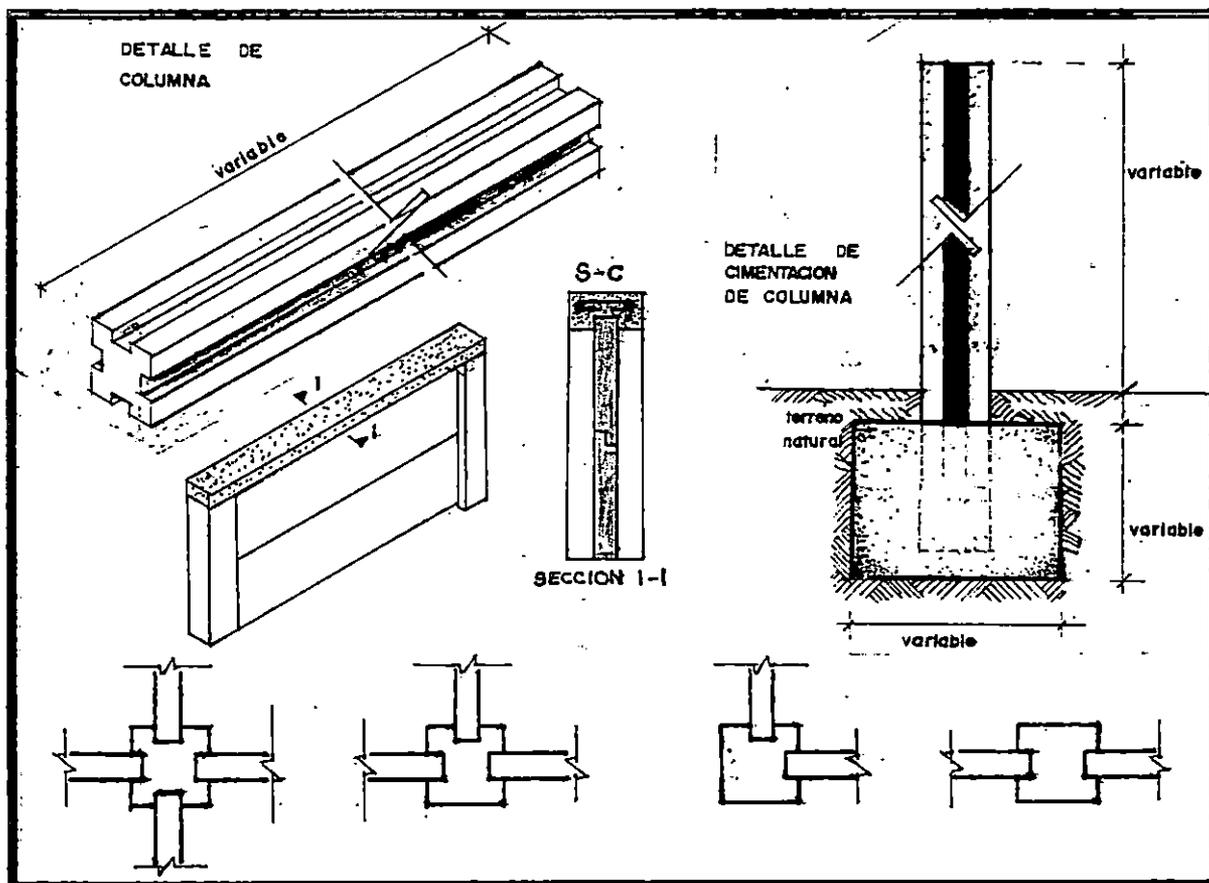


FIGURA V.7 GEOMETRIA SUGERIDA PARA LOS POSTES

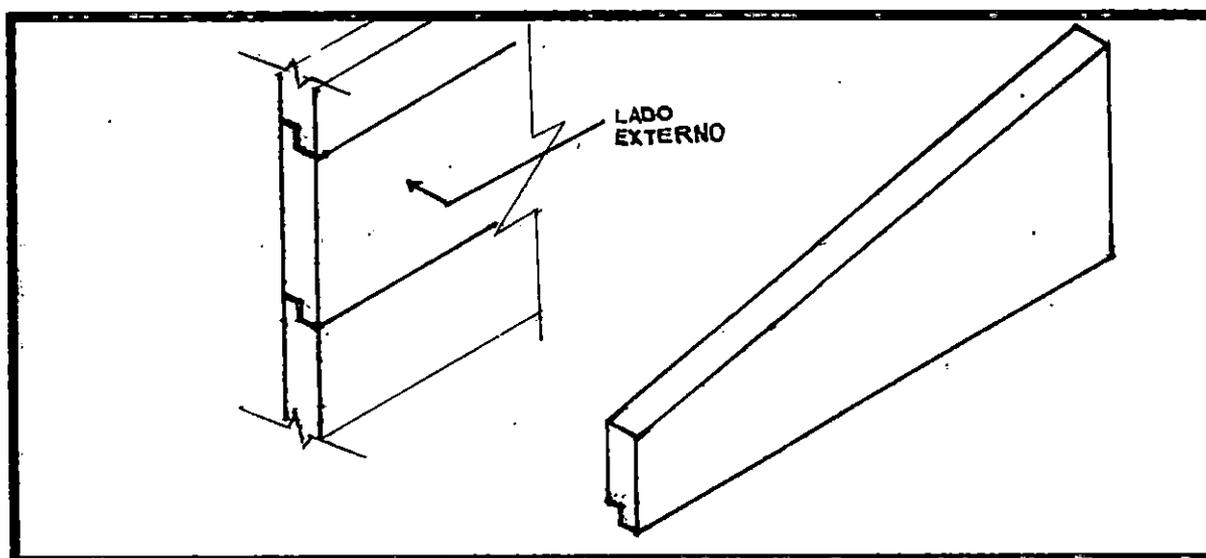


FIGURA V.8 FORMA SUGERIDA PARA GENERAR PENDIENTE DE TECHOS

5.6 ANALISIS ECONOMICO DE LOS ELEMENTOS

ELEMENTO: LOSETA DE CONCRETO LIGERO DE POMEZ

DIMENSIONES : 2.00 M X 0.50 M X 0.05 M

REFUERZO : HIERRO LISO DE 3.8 mm DE DIAMETRO

5.6.1 CALCULO DEL COSTO A NIVEL INDUSTRIAL

COSTOS DE ADMINISTRACION

ADMINISTRACION DE OFICINA

¢6000.00

GERENTE TECNICO	¢4000.00
SECRETARIA-CONTADOR	¢1500.00
AUDITOR	¢ 500.00

PRESTACIONES ADMINISTRACION DE OFICINA

¢2205.00

ISSS	¢6000.00 X 8.25%.....	¢495.00
FSV	¢6000.00 X 5.0%.....	¢300.00
AGUINALDO	¢6000.00 X 4.0%.....	¢240.00
DIAS FESTIVOS	¢6000.00 X 7.0%.....	¢250.20
INDEMINIZACION	¢6000.00 X 8.33%.....	¢499.80

ADMINISTRACION DE CAMPO

¢23570.00

TECNICO	(1)	¢2000.00
MANO DE OBRA CALIFICADA	(4)	¢5400.00
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	(13)	¢15015.00
VIGILANTE	(1)	¢1155.00

PRESTACIONES ADMINISTRACION DE CAMPO

¢8661.97

ISSS	¢23570.00 X 8.25%.....	¢1944.52
FSV	¢23570.00 X 5.0%.....	¢1178.50
AGUINALDO	¢23570.00 X 4.0%.....	¢ 942.80
VACACIONES	¢23570.00 X 7.0%.....	¢1649.90
DIAS FESTIVOS	¢23570.00 X 4.17%.....	¢ 982.87
INDEMNIZACION	¢23570.00 X 8.33%.....	¢1963.38

COSTOS DE ADMINISTRACION TOTALES POR MES..... ¢40436.97

GASTOS DE ADMINISTRACION

MISCELANEOS

¢2398.00

IMPUESTOS MUNICIPALES..... ¢ 618.00
 PUBLICIDAD..... ¢1500.00
 AGUA, LUZ Y TELEFONO..... ¢ 280.00

CALCULO DE MATERIALES QUE COMPONEN EL ELEMENTO:

LOSETA DE 50 X 200 X 5 CM

MATERIALES	U	CANT.	DESP	CANT X DESP	COSTO UNIT	TOTAL
CEMENTO	bls	0.44	1.05	0.462	36.50	16.86
POMEZ	M3	0.04	1.05	0.042	25.00	1.05
TIERRA BLANCA	M3	0.01	1.05	0.011	25.00	0.275
HIERRO 3.8 MM	VAR	4.17	1.05	4.379	3.00	13.14
AGUA	LTS	7.0	1.05	7.35	0.05	0.37
TOTAL						31.70

CALCULO DEL COSTO DE MOLDE PARA 10 LOSETAS

MATERIAL	U	CANT	DESP	CANT X DESP	COSTO UNIT.	TOTAL
ANGULO DE 2" X1/4"	PZA	7	1.10	7.7	150	1155.00
MANO DE OBRA	SG	1			500.00	500.00
TOTAL						1655.00

COSTO DE MOLDES PARA 200 LOSETAS ¢1655.00 X 20 = ¢33100.00

COSTO POR DEPRECIACION DEL EQUIPO..... ¢44175.40

VIDA UTIL 5 AÑOS

REGLA VIBRATORIA	(1)	¢8000.00/5 AÑOS	¢ 1600.00
MOLDES	(20)	¢33100/5 AÑOS	¢ 6620.00
CONCRETERA DE 2 BOLSAS	(1)	¢179777.00/5 AÑOS	¢35955.40

COSTO DE DEPRECIACION MENSUAL ¢3681.28**MANTENIMIENTO DE EQUIPO** ¢2810.00/MES

COMBUSTIBLE	¢2130.00
LUBRICANTES	¢ 180.00
ACCESORIOS	¢ 500.00

COSTO FINANCIERO

DESCRIPCION	COSTO INVERTIDO	% POR DIA DE OPERACION	COSTO FINANCIERO
Terreno	250000.00	0.092	229.17
Instalaciones	500000.00	0.092	458.33
Maquinaria	220877.00	0.092	202.47
Producto Bruto terminado	400000.00	0.092	366.67
TOTAL			1256.64

COSTO DE INSTALACIONES E INMUEBLE ¢750,000.00

VIDA UTIL 20 AÑOS

DEPRECIACION ANUAL	¢37500.00
DEPRECIACION MENSUAL	¢3125.00

RESUMEN DE COSTOS MENSUALES**¢52451.25**

COSTO DE ADMINISTRACION	¢40436.97
DEPRECIACION MAQUINARIA Y EQUIPO	¢ 3681.28
DEPRECIACION INSTALACIONES	¢ 3125.00
GASTOS DE ADMINISTRACION	¢ 2398.00
COSTOS DE MANTENIMIENTO Y EQUIPO	¢ 2810.00

COSTO DIARIO DE OPERACION	52451.25/22	¢2384.15
+ COSTO DIARIO DE OPERACION		¢1256.64

TOTAL COSTOS DIARIOS		¢3640.79
----------------------	--	----------

ASUMIENDO UNA PRODUCCION DIARIA DE 200 LOSETAS TENEMOS:

COSTO/ LOSETA	¢3640.79/200	¢18.20
---------------	--------------	--------

COSTO MATERIAL POR LOSETA		¢31.70
---------------------------	--	--------

COSTO DEL ELEMENTO		¢49.90
--------------------	--	--------

SI SE TRABAJA CON UNA TASA DE RENDIMIENTO DEL 25% EL COSTO POR
LOSETA ES DE : $49.90 * 1.25 = 62.38$

POR LO QUE :

PRECIO DE VENTA POR LOSETA	¢62.38
----------------------------	--------

5.6.2 CALCULO DEL COSTO POR AYUDA MUTUA**ADMINISTRACION DE CAMPO****¢2000.00**

TECNICO	¢2000.00
---------	----------

PRESTACION DE ADMINISTRACION DE CAMPO

¢735.00

ISSS	¢2000.00 X 8.25%.....	¢165.00
FSV	¢2000.00 X 5.0%.....	¢100.00
AGUINALDO	¢2000.00 X 4.0%.....	¢80.00
DIAS FESTIVOS	¢2000.00 X 4.17%.....	¢83.40
INDEMINIZACION	¢2000.00 X 8.33%.....	¢166.60
VACACIONES	¢2000.00 X 7.0%.....	¢140.00

COSTOS TOTALES (ADMN.+PRESTACION ADMN CAMPO)

¢2735.00

DEPRECIACION DEL EQUIPO

¢12555.00

REGLA VIBRATORIA (1)	¢8000.00/3 AÑOS	¢2666.67
MOLDES (3)	¢4965.00/3 AÑOS	¢1655.00
CONCRETERA 1 BOLSA (1)	¢24700.00/3 AÑOS	¢8233.33

DEPRECIACION MENSUAL

¢7533.00

RESUMEN DE COSTOS MENSUALES

¢4331.25

COSTOS DE ADMINISTRACION	¢2735.00
DEPRECIACION DE MAQUINARIA Y EQUIPO	¢1046.25
COSTOS DE COMBUSTIBLE Y LUBRICANTES	¢ 550.00

COSTO DIARIO DE OPERACION

¢4331.25/22 DIAS

¢196.88

ASUMIENDO UNA PRODUCCION DIARIA DE 30 LOSETAS

COSTO POR LOSETA ¢196.88/30
COSTO DE MATERIALES

¢6.56

¢31.70

COSTO TOTAL POR LOSETA ¢38.26

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES SOBRE EL CONCRETO LIGERO DE POMEZ

6.1.1 PROPIEDADES DEL AGREGADO

En cuanto a las propiedades físicas del agregado de pómez de la Finca El Limón, analizados en este estudio a través de pruebas en el laboratorio, se concluye:

6.1.1.1 PESO VOLUMETRICO

El peso volumétrico de los agregados influye en las propiedades del concreto, tales como su resistencia y densidad. El peso volumétrico seco suelto se determinó siguiendo el procedimiento descrito en la Norma ASTM C-29, obteniendo un resultado de 552.91 kg/m³ para el agregado en su granulometría natural.

En la tabla No.III.2 página No. 56, de la Norma ASTM C-330 se establecen los límites máximos del peso volumétrico, en base a lo cual se concluye que la pómez del banco estudiado es un agregado de peso ligero por tener un peso volumétrico menor que los límites máximos especificados.

6.1.1.2 GRANULOMETRIA

En los ensayos granulométricos realizados a la arena y

grava de pómez; así como también a la arena y grava en conjunto, se determinó que no cumplen con los límites especificados en la Norma ASTM C-330, para lo cual tuvo que corregirse para su empleo en el diseño de mezclas (ver página 45).

El material de este banco posee en su estado natural una granulometría no uniforme, lo cual es una ventaja pues hay variedad de tamaños pero también presenta una deficiencia considerable de finos. En el ajuste granulométrico realizado en este estudio se determinó, mediante combinaciones teóricas, que un 20% de tierra blanca adicionado al material compensan la deficiencia de finos que presentan.

6.1.1.3 GRAVEDAD ESPECIFICA

La gravedad específica de los agregados en el diseño de las mezclas de concreto, sirve para calcular el volumen de los agregados una vez conocido el peso de los mismos, de acuerdo al proporcionamiento de las mezclas siguiendo los procedimientos establecidos en las normas ASTM C-127 y ASTM C-128, se obtuvieron los valores siguientes:

Arena	0.95
Grava	1.32
Tierra blanca	2.144

En el diseño de las mezclas se utilizó el agregado con granulometría ajustada (80% de material de la Finca El Limón y 20% de Tierra blanca de San Marcos) obteniendo por medio de una

ponderación aritmética la gravedad específica de este material combinado (ver página 70) cuyo resultado fue de 1.345.

6.1.1.4 ABSORCION

La capacidad de absorción que presenta la piedra pómez requiere de especial atención. En estudios realizados anteriormente¹⁹ se demostró que este material requiere de 72 horas para llegar al punto de saturación.

Siguiendo esta recomendación para estimar los valores de absorción de la pómez en estudio, se colocaron muestras de arena y grava de pómez en recipientes con agua por un tiempo de 72 horas obteniéndose los resultados siguientes:

Agregado Fino	52.1 %	(del peso seco)
Agregado Grueso	68.25 %	(del peso seco)

6.2 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

6.2.1 METODOS DE DISEÑO

La dosificación de la mezcla definitiva para producir los elementos prefabricados, se obtuvo en forma experimental mediante una serie de mezclas de prueba a partir de las cuales se evaluaron una serie de parámetros para obtener, en esta

19/PANELES DE CONCRETO LIGERO PARA DIVISIONES, Larios Cerón y Otros, Tesis Escuela de Ingeniería Civil, 1986

ELABORACION DE BLOQUES DE CONCRETO DE POMEZ PARA VIVIENDAS DE BAJO COSTO, Miguel Angel Amaya Rivera y Otros, Tesis Escuela de Ingeniería Civil, 1993

mezcla, las características requeridas. Las mezclas de prueba se diseñaron por el método del volumen absoluto (ver ejemplo numérico página 71). La mezcla definitiva que se usó corresponde al siguiente proporcionamiento para 1 m³:

Cemento	375	kg
Agua	140	lts
Pómez	673.52	kg
Tierra Blanca	168.38	kg
Aditivo Sikament (0.75% peso cemento)	2.82	kg

6.2.1.1 CONDICION DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Para elaborar las mezclas de concreto, los agregados se usaron en la condición presaturado. Esto permitió un mejor control del agua de mezcla evitando que se produjeran variaciones que alteraran el diseño previamente establecido debido a la absorción de los agregados.

6.2.1.2 PROPORCIONAMIENTO DEL ADITIVO SIKAMENT

El uso de este aditivo, aparte de mejorar notablemente la trabajabilidad en la mezcla permitió una reducción del agua en un 20%.

Este aditivo reacciona con el cemento cuando entran en contacto en la mezcladora, dándole a la mezcla una apariencia plástica.

Para su empleo se procedió de la siguiente manera:

- a. Se depositan los componentes del concreto en la mezcladora con un 50% del agua estimada de la mezcla.
- b. Se adiciona la cantidad de Sikament correspondiente al 0.75% del peso del cemento.
- c. Se observa y se mide la consistencia del concreto haciendo los ajustes necesarios adicionando más agua, hasta obtener la consistencia que corresponde a la penetración con la Esfera de Kelly comprendida entre 1 plg y 1½ plg.
- d. El tiempo de revoltura empleado para esta mezcla fue de 5 min.

6.2.1.3 METODOS DE COMPACTACION

La compactación de los cilindros de prueba se hizo con un vibrador de inmersión de diámetro = 7/8 plg y de 3,000 RPM, efectuando este vibrado en tres capas a razón de 5 seg por cada capa. Este tiempo de vibrado se determinó a partir de las observaciones hechas en pruebas preliminares. Se probaron métodos alternativos como el varillado y el vibrado en dos capas con 10 seg por cada capa para seleccionar el que mejores resultados proporcionara.

Se realizaron tres cortes en los cilindros con una sierra de diamante para poder observar el grado de compactación y textura obtenido. A partir de esta observación se recomienda el vibrado en tres capas vibrando 5 seg. cada capa.

La compactación de las losetas no podía efectuarse con el vibrador de inmersión ya que para este tipo de elementos la regla vibratoria es el equipo ideal (ver Fotografía No. IV.1 pág. 93). Este equipo compacta el concreto de arriba hacia abajo cuando se desplaza, por acción de la misma vibración, en la dirección elegida del elemento.

Es necesario ajustar las revoluciones a las que el equipo trabaja eficientemente el compactado ya que máxima o mínima revolución harán que el equipo no se desplace y por tanto no compacte adecuadamente el concreto.

6.3 PROPIEDADES MECANICAS

6.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CILINDROS DE PRUEBA

Según los gráficos de Resistencia-Edad y Resistencia-Cantidad de Cemento (ver página 81), puede observarse que la resistencia a la compresión de concreto ligero de pómez aumenta con la edad, siendo sus incrementos de resistencia mayores durante los primeros 7 días.

Este comportamiento, similar al que presenta el concreto de peso normal, se observó en los tres tipos de mezcla ensayados.

Para la mezcla seleccionada en este estudio que corresponde

a 375 kg de cemento por m³ de concreto, los factores de resistencia pueden estimarse en:

EDAD	PORCENTAJE	RESISTENCIA A COMPRESION
7 días	65%	97.45 kg/cm ²
14 días	81%	122.21 kg/cm ²
28 días	100%	150.71 kg/cm ²

6.3.2 RESISTENCIA A LA FLEXION DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS

A partir de las observaciones hechas en el colado y de los resultados obtenidos en los ensayos a flexión de los elementos de 5 y 7 cms de espesor, se concluye lo siguiente:

6.3.2.1 ZONA DE COLADO Y MOLDES

La zona donde se vayan a colar los elementos deberá consistir en una superficie de concreto nivelada y pulida para lograr obtener un buen acabado en la superficie de contacto. El uso de un desmoldante se hace necesario para retirar las losetas sin dañarlas.

Los elementos fabricados en este estudio presentaron una serie de poros en el lado que contactaba con la superficie del patio de colado. Esta situación se corrigió llevando a cabo un colado en el cual se utilizó fórmica para idealizar la superficie requerida.

En cuanto a los moldes, en este estudio se hicieron de madera, lo que no se recomienda pues tienden a dañarse rápidamente a la vez que permiten fugas de lechada. Esto ocasionó que los bordes de algunas losetas quedaran con colmenas. Moldes metálicos son los aconsejables para una producción masiva de las losetas.

6.3.2.2 COLOCACION DEL REFUERZO

Durante la operación del colado de los elementos (ver procedimiento en página 94), el refuerzo se colocó sin utilizar separadores (helados o silletas) conservando su posición original por el hecho de estar utilizando una mezcla rígida (17 pig a 17 pig de penetración de la Estera de Kelly).

El armado del refuerzo empleado en la fabricación de las losetas se muestra en el siguiente cuadro:

ESPESOR LOSETA CMS		LONG.	TRANS.	DISTRIBUCION DEL REFUERZO (CMS)
		7	7.50	
ESTRUCTOMALLA 6"x6" 8/8		LONG.	TRANS.	DISTRIBUCION DEL REFUERZO (CMS)
		7	10.25	
5	7	10.25	7.50	15
7	7	10.25	7.50	15

El acero para cada tipo de loseta se diseñó conforme lo estipula el ACI 318-89 respetando las exigencias de acero mínimo (ver ejemplo de diseño en página No. 106)

6.3.2.3 ENSAYO DE FLEXION

Las cargas de agrietamiento soportados por los elementos con los dos tipos de refuerzo usados, son superiores a las cargas consideradas en el diseño como puede observarse en el siguiente cuadro:

ELEMENTO	EDAD días	CARGA DE DISEÑO kg	CARGA ESTIMADA kg*
Loseta $e = 5$ cm Refuerzo $\phi = 3.8$ mm Long. @ 7 cm , Transv. @ 10.25 cm	28	85	120
Loseta $e = 5$ cm Ref. estructomalla 6"x6" 8/8 @ 15 cm A.S.	28	85	120
Loseta $e = 7$ cm Refuerzo $\phi = 3.8$ mm Long. @ 7 cm Transv. @ 7.50 cm	28	85	208
Loseta $e = 7$ cm Ref. estructomalla 6"x6" 8/8 @ 15 cm A.S.	28	85	283

* Ver análisis de correlación de resultados en página No. 115

En base a estos resultados se concluye que:

- a. Las losetas con espesores de 5 cm satisfacen las cargas de diseño.
- b. Las losetas con espesor de 7 cm, aunque presentan mayor resistencia, ésta es demasiado sobrada para los usos a los que será destinado el elemento pudiendo resultar antieconómico.

c. La loseta con espesor de 5 cm es más liviana que la de 7 cms lo que es ventajoso para efectos de manipulación y transporte de los elementos.

d. Los elementos de 5 cm de espesor tienen igual resistencia con los dos tipos de refuerzo utilizado (Hierro $\phi = 3.8$ mm y estructomalla 6" x 6" 8/8), lo cual por efectos de tiempo y costo de mano de obra especializada, es posible que sea más ventajoso el uso de la estructomalla por el hecho de que ahorraría costos de armadura. Debe tomarse en cuenta también el hecho de que pueden solicitarse pedidos especiales al fabricante si se cumple con un pedido mínimo de parrillas de acero.

e. La loseta de 5 cm de espesor presenta ventajas sobre las de 7 cm, por lo que de comercializarse este producto, se recomienda fabricarlos de 5 cms de espesor.

6.4 CONCLUSION GENERAL

Considerando que en nuestro país la piedra pómez es un material abundante que no requiere trituración ni clasificación mediante mallas selectivas, de fácil obtención y por tanto económico, se recomienda buscar los medios necesarios que lleven a la implementación del uso del concreto ligero de pómez. Deberá tomarse en cuenta que las propiedades físicas de este material difieren de un yacimiento a otro, por lo que será preciso investigar estas propiedades cerciorándose de que se ajusten a

las normas; en caso contrario se deberán realizar los ajustes pertinentes.

Las losetas de concreto ligero de pómez pueden considerarse como una alternativa de solución al problema de la vivienda de nuestro país, las cuales serán rentables si se llegan a producir industrialmente, por la economía de costos que esto representa. Sin embargo, también puede evaluarse la modalidad de ayuda mutua que elimina los costos de la mano de obra.

BIBLIOGRAFIA

1. LARIOS CERON, JOSE HUMBERTO Y OTROS (1986), "Paneles de Concreto Ligero para Divisiones", Seminario de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. U.E.S
2. SHORT, ANDREW Y KINNIBURG, WILLIAN (1967), "Concreto Ligero: Cálculo, Fabricación, Diseño y Aplicaciones", Editorial Limusa-Wiley, S.A., México.
3. ESCOBAR, ROBERTO ALFONSO Y OTROS (1970). "Tecnología del Concreto Tomo III", Concreto Liviano de Pómez, Seminario de Graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, U.E.S
4. LEON MARTINEZ, JOSE ALVARO (1979). "Estudio Experimental sobre concreto liviano de pómez". Tesis Ingeniero Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, U.E.S
- 5: ANAYA RIVERA, MIGUEL ANGEL Y OTROS (1993). "Elaboración de bloques de concreto ligero de pómez para viviendas de bajo costo", TESIS Ingeniero Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, U.E.S.
6. INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A.A. (1989) "Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado (ACI 318-89). México.
7. NEVILLE, A.M. (1975), "Tecnología del Concreto", Instituto Mexicano del cemento y del concreto. México 1977

A N E X O S

ANEXO No.1

ASTM C 29-87
(AASHTO T 19)

METODO ESTANDAR DE ENSAYO PESO UNITARIO Y VACIOS EN LOS AGREGADOS

1. ALCANCE

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación del peso unitario en una condición compactada o suelta y el cálculo de vacíos en agregados finos, gruesos o una mezcla de ellos basados en la misma determinación. Este método de ensayo se aplica a agregados que no excedan de 4 pulgadas (10.0 cm) el tamaño nominal máximo.

NOTA 1. El peso unitario es la terminología tradicional usada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo. Algunos creen que el término propio es unidad de masa o densidad o densidad Bulk, pero el consenso en esta terminología alterna no ha sido obtenido.

1.2 Los valores establecidos en unidades libras-pulgadas son consideradas como los estándar excepto al considerar los tamaños de malla y el tamaño de los agregados, los cuales están dados en unidades SI, de acuerdo a la especificación E 11.

1.3 Para otras unidades de medida, los valores establecidos en unidades libras-pulgadas o unidades métricas aceptables serán consideradas separadamente como estándar. El valor establecido en cada sistema no son equivalencias exactas; por lo tanto cada sistema puede ser usado independientemente del otro.

1.4 Esta Norma puede involucrar materiales, operaciones y equipo peligroso. Esta Norma no pretende dar todas las direcciones de los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta Norma, establecer la seguridad apropiada o prácticas contra la salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias prioritarias

para su uso.

2. DOCUMENTOS REFERENCIADOS

2.1 Estándares ASTM:

C 127 M.E. Gravedad específica y absorción del agregado grueso.

C 128 M.E. Gravedad específica y absorción del agregado fino.

C 670 Práctica para preparar los términos precisión y error para materiales de construcción.

C 702 Método para reducir muestras de campo a tamaño de ensayo en agregados.

D 75 Práctica para muestreo de agregados.

E 11 Especificación para mallas de alambre para propósitos de ensayo.

2.2 Estándar AASHTO:

T 19 Método para peso unitario y vacíos en agregados.

3. SIGNIFICADO Y USO.

3.1 Este método de ensayo es usado frecuentemente para determinar los valores del peso unitario que son necesarios para usar en muchos métodos de seleccionar proporciones para mezclas de concreto.

3.2 El peso unitario puede ser usado también para determinar la relación Masa/Volumen para conversiones en compras de concordancia. Sin embargo, la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de transporte o apilado y llevado a cabo por este método de ensayo es desconocido. Además, los agregados en unidades de transporte y apilados usualmente contienen agua absorbida y humedad superficial (este último afectando el volumen), mientras que este método de ensayo determina el peso unitario en una base seca.

3.3 Se incluye un procedimiento para calcular el porcentaje de vacíos entre las partículas de agregado basado en el peso

unitario determinado por este método de ensayo.

4. APARATOS

4.1 Balanza- Una balanza o báscula precisa con 0.1 % de la carga de ensayo en cualquier punto del rango usado y graduado en al menos 0.1 lb ó 0.05 Kg. El rango de uso deberá ser considerado para extenderse del peso de la medida inicial al peso de la medida final conteniendo la muestra 120 Lbs/pie³ ó 1920 Kg/m³.

4.2 Varilla Apisonadora- Una varilla de acero recta, de sección transversal circular, 5/8 pulgadas ó 16 mm de diámetro y aproximadamente 24 pulgadas ó 600 mm de longitud, con un extremo redondeado en forma hemisférica del mismo diámetro de la varilla.

4.3 Recipiente para medir. Un recipiente metálico de forma cilíndrica y preferiblemente provisto de asas. Deberá ser impermeable y con la parte superior y fondo liso, plano y suficientemente rígido para mantener su forma bajo las condiciones de uso. El recipiente deberá tener una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso tendrá una altura menor de 80 % ni mayor que 150 % del diámetro. La capacidad del recipiente será conforme a los límites mostrados en la tabla 1 para el tamaño del agregado a ensayar. El espesor del metal en el recipiente, será como se describe en la Tabla 2. El borde superior deberá ser liso y plano con 0.01 pulgadas ó 0.25 mm y paralelo al fondo con 0.5° (nota 2).

NOTA 2. El borde superior es satisfactoriamente plano si una laminilla calibradora de 0.01 pulgadas ó 0.25 mm no puede ser insertada entre el borde y una pieza de 1/4 pulgada ó 6 mm de espesor o poniendo el grosor de una placa de vidrio sobre el recipiente. El borde superior y el fondo son satisfactoriamente paralelos si la deflexión entre las piezas de vidrio plano en contacto con el borde y el fondo no excedan 0.87% en cualquier dirección.

TABLA 1

CAPACIDAD DEL RECIPIENTE

Tamaño Nominal Máximo del agregado		Capacidad del recipiente (A)	
Pulg.	mm	pie3	L (m3)
1/2	(12.5)	1/10	2.8(0.0028)
1	(25.0)	1/3	9.3(0.0093)
1 1/2	(37.5)	1/2	14(0.014)
4	100	1	28(0.028)

(A) El tamaño del recipiente indicado puede ser usado para ensayar agregados de un tamaño nominal máximo, igual o menos que el listado. El volumen actual del recipiente sería al menos 95% del volumen.

TABLA 2

REQUISITOS PARA RECIPIENTES

Capacidad del recipiente	Espesor mínimo del metal		
	Fondo	Mayor de 1/2" ó 38 mm de pared	Residuo de la pared
Menor de 0.4 pie3	0.20 pul	0.10 pul	0.10 pul
0.4 pie3 ó más	0.20 pul	0.20 pul	0.12 pul
Menor de 11 L	5.0 mm	2.5 mm	2.5 mm
11 L ó más	5.0 mm	5.0 mm	3.0 mm

(A) El espesor adicional en la parte superior de la pared puede ser obtenido colocando una banda de refuerzo alrededor del borde del recipiente.

4.4 Pala o Cucharón- Una pala o cucharón de tamaño conveniente para llenar el recipiente con agregado.

4.5 Equipo de calibración- Una pieza de vidrio plano preferiblemente menor de 1/4 pulgada ó 6 mm de espesor y al menos de 1 pulgada ó 25 mm más largo que el diámetro del recipiente a ser calibrado.

5. MUESTRA

5.1 El muestreo generalmente será utilizado de acuerdo a la práctica D 75 y reducir la muestra de acuerdo con el método C 702.

6. METODO DE ENSAYO

6.1 El tamaño de la muestra será aproximadamente 125 a 200% del peso requerido para llenar el recipiente y será manipulado a manera de evitar segregación. Secar la muestra de agregado hasta obtener peso constante, preferiblemente en un horno a $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ó $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

7. CALIBRACION DEL RECIPIENTE

7.1 Llenar el recipiente con agua a la temperatura ambiente y cubrir con una pieza de vidrio plano con el objeto de eliminar las burbujas y exceso de agua.

7.2 Determine el peso del agua en el recipiente usando una balanza descrita en 4.1.

7.3 Mida la temperatura del agua y determine su densidad de la Tabla 3, interpolando si es necesario.

7.4 Calcule el volumen, V , del recipiente dividiendo el peso del agua requerida para llenarlo por su densidad. Alternativamente, calcule el factor para el recipiente ($1/V$) dividiendo la densidad del agua por el peso requerido para llenar el recipiente.

NOTA 3. Para calcular el peso unitario, el volumen del recipiente en unidades métricas aceptables deberán ser expresadas en metros cúbicos, o el factor 1/m³. Sin embargo, por conveniencia el tamaño del recipiente puede ser expresado en litros.

TABLA 3 - DENSIDAD DEL AGUA

Temperatura			
°F	°C	lbs/pie ³	Kg/m ³
60	15.6	62.366	999.01
65	18.3	62.366	998.54
70	21.1	62.301	887.97
(73.4)	(23.0)	(62.274)	(997.54)
75	23.9	62.261	997.32
80	26.7	62.216	996.59
85	29.4	62.166	995.83

7.5 Los recipientes serán calibrados al menos una vez al año o siempre que haya razón para dudar de la exactitud de la calibración.

8. SELECCION DEL PROCEDIMIENTO

8.1 El procedimiento de paleado para peso unitario suelto será usado únicamente cuando sea específicamente estipulado. De otro modo, el peso unitario compactado será determinado por el procedimiento de varillado para agregados que tengan un tamaño nominal máximo de 37.5 mm ó 1 1/2 pul. o menos, o por el procedimiento de vaivén para agregados que tengan un tamaño nominal máximo mayor de 37.5 mm ó 1 1/2 pul. y que no excedan de 100 mm o 4 pul.

9. PROCEDIMIENTO VARILLADO

9.1 Llenar el recipiente hasta la tercera parte de su volumen y nivelar la superficie con los dedos. Compactar la capa de agregado con 25 golpes uniformemente distribuidos en la superficie. Llenar el recipiente a los dos tercios del volumen

y nuevamente nivele y compacte como se describió anteriormente. Finalmente llenar el recipiente completamente y compactar de nuevo de la manera previamente mencionada. Nivele la superficie de los agregados con los dedos o con enrasador a manera de compensar las piezas largas del agregado grueso con los vacíos en la superficie, abajo del borde superior del recipiente.

9.2 Al compactar la primera capa, la varilla no deberá golpear fuertemente el fondo del recipiente. Al compactar la segunda y tercera capa, use solamente la fuerza necesaria para que la varilla penetre hasta la capa anterior del agregado.

9.3 Determine el peso del recipiente y su contenido, y el peso del recipiente solo y registre los valores con una precisión de 0.1 lb. ó 0.05 Kg.

10. PROCEDIMIENTO DE VAIVEN.

10.1 Llenar el recipiente en tres capas aproximadamente iguales como se describió en 9.1. cada una de las capas se compactará colocando el recipiente sobre una base firme, tal como un piso de cemento o concreto, elevando alternativamente los lados opuestos del recipiente, alrededor de 2 pulgadas ó 50 mm y dejándolo caer de tal manera que golpee con un lado sobre la base. Por este procedimiento, las partículas del agregado se acomodarán por sí mismas hasta alcanzar una condición muy compacta. Compactar cada capa dejando caer el recipiente 50 veces de la manera descrita, 25 veces de cada lado. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o con un enrasador a modo de balancear aproximadamente algunas salientes de las piezas largas del agregado grueso, con los vacíos en la superficie bajo el borde superior del recipiente.

10.2 Determine el peso del recipiente con su contenido, y el peso del recipiente solo y registre los valores con una precisión de 0.1 lb. ó 0.05 Kg.

11. PROCEDIMIENTO DE TRASPALCO

11.1 Llenar el recipiente completamente mediante una pala o cucharón, descargando el agregado de una altura que no exceda de 2 pulgadas ó 50 mm sobre el borde superior del recipiente.

AMRL, datos de la muestra de laboratorios para peso unitario suelto (Masa unitaria) usando un recipiente de 1/10 pie³ o 2.8 Lts.

14.4 Ningún dato de precisión en el contenido de vacíos es obtenible.

14.5 Error. El procedimiento de este método de ensayo para medir el peso unitario y el contenido de vacíos no tiene error porque el valor para peso unitario y contenido de vacíos pueden ser definidos únicamente en términos de un método de ensayo.

ANEXO N° 2

METODO ESTANDAR DE ENSAYE

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

NORMA ASTM C127

Esta norma se ha emitido bajo la designación fija C-127; el número próximo siguiente a la designación indica el año de adopción original, o en el caso de revisión el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reprobación.

1. ALCANCE

- 1.1 Este método cubre la determinación de la gravedad específica en la masa, y gravedad específica aparente, 73.4/73.4°F (23/23°C), y la absorción del agregado fino. La gravedad específica en masa es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en concreto de cemento portland.
- 1.2 Este método permite determinar (después de 24 horas de estar sumergida en agua) la gravedad específica en masa y la gravedad específica aparente, según se define en las definiciones ASTM E-12, Términos Relativos a Densidad y Gravedad Específica de Sólidos, Líquidos y Gases, la gravedad específica en masas basándose en el peso del agregado saturado y superficialmente seco, y la absorción según se define en las definiciones ASTM C-125, para Términos Relativos a Concreto y Agregados para Concreto.

2. EQUIPO

- 2.1 Balance de 1 kg. o más de capacidad, sensibilidad de 0.1 grs. o menos y exactitud dentro de 0.1 por ciento del peso que se determine.
- 2.2 Molde tronco - cónico
- 2.3 Picnómetro
- 2.4 Varilla Apisonadora.- Una varilla apisonadora metálica con un peso de 12 ± 1/2 onzas y que tenga una cara para apisonar plana y circular de 1 ± 1/8 de pulg. (12 ± 3 mm) de diámetro.

3. PREPARACION DE LA MUESTRA DE ENSAYE

3.1 Obtener aproximadamente 1000 grs. de agregado fino de la muestra por medio del uso de un separador de muestras o por cuarteo (Nota 2). secar la muestra en un recipiente adecuado hasta peso constante a una temperatura de 212 a 230°F (100 a 100°C), Déjese enfriar hasta una temperatura adecuada para el manejo, cúbrase con agua y déjese en reposo por 24 ± 4 horas (Nota 3). Debe quitar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, extiendase la muestra sobre una superficie plana expuesta a una ligera corriente de aire caliente y remuévase frecuentemente para asegurar un secado uniforme. Continúese esta operación tal que pueda fluir libremente. Colóquese entonces una porción de agregado fino parcialmente seco y suelto dentro del molde, compáctese ligeramente sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo, golpee ligeramente la superficie 25 veces con el apisonador y levante el molde verticalmente. Si se tiene humedad libre el cono del agregado fino conservará su forma. Continúese el secado moviendo constantemente y ensaye a intervalos frecuentes hasta que el cono de agregado fino pierda su forma al retirar el cono metálico. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado la condición de saturado y superficialmente seco (Nota 4). Si se desea, se pueden emplear procedimientos mecánicos como ayuda para alcanzar la condición de saturado y superficialmente seco especificada.

Nota. 2.- El proceso de cuarteo y el uso correcto del separador de muestras son discutidos en el manual de ensayos de concreto.

Nota. 3.- Cuando se van a utilizar los valores de Absorción y de gravedad específica como base para proporcionar mezclas de concreto con agregados usados normalmente en condición húmeda, el requisito de secado inicial hasta peso constante puede ser eliminado y si la superficie de las partículas se ha mantenido seca, el remojo de las 24 horas puede ser eliminado. Los valores para la absorción y la gravedad específica en la condición de saturado y superficialmente seco pueden ser significativamente mayores para los agregados no secados en el horno antes del remojo, que para el mismo agregado tratado de acuerdo con 3.1.

Nota 4.- El procedimiento descrito en la sección 3 tiene por objeto asegurar que la primera determinación por tanteo se efectúe con algo de agua libre en la muestra.

Si el cono de agregado fino pierde su forma en el primer tanteo, el agregado fino se ha secado más allá de la

condición de saturado y superficialmente seco. En este caso se pueden mezclar completamente unos pocos centímetros cúbicos de agua con el agregado fino dejando después la muestra en un recipiente cubierto durante 30 minutos. El proceso de secado y ensaye para la condición de flujo libremente ya se indicó.

4. PROCEDIMIENTO

41. Introduzca inmediatamente en el picnómetro una muestra de 500 grs. del agregado fino, preparada como se describió en la sección 3, y llénelo con agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Gire, invierta y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire. Ajuste la temperatura a $73.4 \pm 0.1^{\circ}\text{F}$ ($23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$), si es necesario, por inmersión en agua circulante, lleve el nivel del picnómetro hasta la capacidad calibrada. Determine el peso total del picnómetro, la muestra y el agua (Nota 6). Anote este y todos los pesos con una aproximación de 0.1 gramos.

Nota 5.- Una cantidad mayor de 500 gramos, pero no menor de 50 gramos, puede usarse si se tiene el cuidado de substituir por el peso de la muestra la cantidad "500" donde quiera que aparezca en las fórmulas 5.1, 6.1, 7.1 y 8.1.

Si el peso usado es menor de 500 gramos, los límites de precisión en los pesos y medidas deberán ser modificados proporcionalmente.

Nota 6.- Como una alternativa, la cantidad de agua necesaria para llenar el picnómetro puede ser determinada volumétricamente, usando una bureta con una precisión de 0.15 cm³, peso total del picnómetro, muestra y el agua se calculará como se indica a continuación"

$$C = 0.9976 V_a + 500 + W$$

Donde:

C = Peso del Picnómetro lleno con la muestra más el agua.

V_a = Volumen de agua añadida al picnómetro en cm³.

W = Peso del picnómetro vacío, en gramos.

42. Remueva el agregado fino del picnómetro, seque hasta peso constante a la temperatura de 212 a 230 °F (100 a

7. GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE

- 7.1 Calcúlese la gravedad específica aparente, 73.4/73.4 °F (23/23°C), como se define en las definiciones ASTM E-12, como sigue:

$$\text{Gravedad específica aparente} = - A / (B + A - C)$$

8. ABSORCION

- 8.1 Calcúlese el porcentaje de absorción, según se define en las definiciones C-125, como sigue.

$$\text{Absorción} = (500 - A)/A \times 100$$

9. PRECISION

- 9.1 Las determinaciones que se hagan por duplicado no deberán diferir en más de 0.02 en el caso de la gravedad específica ni de 0.05 por ciento en el caso del porcentaje de absorción.

ANEXO No. 3

ESPECIFICACIONES ESTANAR

ANALISIS DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS POR TAMIZADO

NORMA ASTM C-136-77

Esta norma se ha emitido bajo la designación fija C-136; el número próximo siguiente a la designación indica el año de adopción original o en el caso de revisión el año de la última revisión.- Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación.

1. ALCANCE

- 1.1 Este método describe un procedimiento para determinar la distribución de los tamaños de partículas de agregados finos y gruesos por medio de cribado.-

2. RESUMEN DEL METODO

- 2.1 Una muestra, previamente pesada, de agregado seco, se separa por medio de una serie de tamices o mallas, con aberturas progresivamente menor, para determinar la distribución por tamaño de las partículas.

3. APARATOS

- 3.1 Balanza.- La Balanza o báscula tendrá una sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra ensayada.
- 3.2 Mallas.- Las mallas estarán montadas en marcos contruidos de tal manera que no se pierda material durante el cribado.
Se seleccionarán mallas de tamaños adecuados para obtener la información que se requiera según las especificaciones aplicables al material ensayado.- Las mayas cumplirán con las especificaciones para mallas usadas en ensayos (ASTM E-11).-

4. MUESTRAS

- 4.1 La muestra de agregado cuyo análisis por cribado vaya a efectuarse, debe mezclarse y reducirse una cantidad conveniente por medio de un equipo divisor de muestras o por cuarteo.-
El agregado fino debe humedecerse antes de la reducción, a fin de reducir al mínimo la segregación y pérdida de polvo.-

La muestra para la prueba debe ser, aproximadamente, del peso deseado, cuando esté seca y debe ser el resultado final del método de reducción.- No se permitirá que se haga la reducción hasta alcanzar un peso exacto predeterminado.

Nota 1.- El proceso de cuarteo y el uso correcto del equipo divisor de muestra son descritos en el "Manual de Ensayos de concreto".-

- 4.2 Agregado Fino.- Las muestras de agregado fino para análisis granulométrico deben pesar en estado seco aproximadamente las siguientes cantidades:
Agregado en el que el 95% pasa la Malla N° 8 (2.36 mm), 100 grs.
Agregado en el que el 85% para la Malla N° 4 (4.75 mm), y más del 5% se retiene en la malla N° 8, 500 grs.-
- 4.3 Medida. Un recipiente metálico para medir, de forma cilíndrica y de preferencia con asas. Deberá ser estanco y con la parte superior e inferior, preferiblemente acabadas a máquina a las dimensiones exactas internamente y lo suficientemente rígido como para lograr que mantenga su forma aún bajo condiciones severas de uso.

El borde superior no deberá tener aristas vivas y estará contenido en un plano con una tolerancia de 0.01 pulg. (0.25 mm.) y deberá ser paralelo al fondo con una desviación máxima de 0.5 grados (nota 2) las medidas de los tamaños mayores detallados en la tabla 1 deberán ser reforzados alrededor del borde superior con una banda metálica para proveer un grosor total de pared de no menos de 0.20 pulg. (5 mm.) en una altura de 1 1/2 pulg. (38 mm.) La capacidad y dimensiones de la medida deberá cumplir con los límites de las tablas 1 ó 2.

NOTA 2. El borde de la medida estará satisfactoriamente plano si una hoja de calibrar de 0.01 pulg. (0.25 mm.) no puede ser insertada en ningún lugar entre el borde y la placa de vidrio de 1/4 pulg. de espesor que haya sido colocada sobre el. La parte superior y la base se considera que son suficientemente paralelos si la pendiente relativa entre dos placas de vidrio colocadas en contacto con la cubierta y la base no excede del 1% en ninguna dirección.

5. MUESTREO.

5.1 Debe realizarse generalmente de acuerdo con el método D-75 y reducción de la muestra de acuerdo con el método C-702.

6. MUESTRA.

6.1 La muestra de agregado debe secarse, hasta obtener peso constante, preferiblemente en un horno, a una temperatura de 230 + 9 °F (110 + 5 °C).

7. CALIBRACION DE MEDIDAS.

7.1 Llene el recipiente con agua, a temperatura ambiente, y cúbralo con una placa de vidrio, a manera de eliminar las burbujas y el exceso de agua.

7.1.1 Porcentaje total de material que pasa cada malla, ó

7.1.2 Porcentaje total de material retenido en cada malla, ó

7.1.3 Porcentaje del material retenido entre mallas consecutivas de acuerdo con las especificaciones aplicables al material ensayado.- Repórtese los porcentajes aproximándolos al número entero más cercano, excepto para el porcentaje que pasa la malla N° 200 el cual se reportara con aproximadamente de 0.1%.

TABLA N° 1

TAMAÑO NOMINAL MAXIMO DE PARTICULAR		PESO MINIMO DE LA MUESTRA
PULG.	MM	Kg.
3/8	9.5	2.0
1/2	12.5	4.0
3/4	19.0	8.0
1	25.0	12.0
1 1/2	28.1	16.0
2	50.0	20.0
2 1/2	63.0	25.0
3	75.0	45.0
3 1/2	90.0	70.0

ANEXO No. 4

METODO ESTANDAR DE ENSAYE

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

NORMA ASTM C-128-73

Esta norma se ha emitido bajo la designación fija C-128; el número próximo siguiente a la de signación indica el año de adopción original o en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación.

1. ALCANCE

1.1 Este método cubre la determinación de la gravedad específica en la masa, y gravedad específica aparente, 73.4/73.4°F (23/23°C), y la absorción del agregado fino. La gravedad específica en masa es la característica generalmente usada para calcular el volumen ocupado por el agregado en concreto de cemento portland.

1.2 Este método permite determinar (después de 24 horas de estar sumergida en agua) la gravedad específica en masa y la gravedad específica aparente, según se define en las definiciones ASTM E-12, Términos Relativos a Densidad y Gravedad Específica de Sólidos, Líquidos y Gases, la gravedad específica en masas basándose en el peso del agregado saturado y superficialmente seco, y la absorción según se define en las definiciones ASTM C-125, para Términos Relativos a Concreto y Agregados para Concreto.

2. EQUIPO

2.1 Balanza de 1 kg. o más de capacidad, sensibilidad de 0.1 grs. o menos y exactitud dentro de 0.1 por ciento del peso que se determine.

2.2 Molde tronco - cónico

2.3 Picnómetro

2.4 Varilla Apisonadora.- Una varilla apisonadora metálica con un peso de $12 \pm 1/2$ onzas y que tenga una cara para apisonar plana y circular de $1 \pm 1/8$ de pulg. (12 ± 3 mm) de diámetro.

3. PREPARACION DE LA MUESTRA DE ENSAYE

3.1 Obtener aproximadamente 1000 grs. de agregado fino de la muestra por medio del uso de un separador de muestras o por cuarteo (Nota 2). secar la muestra en un recipiente adecuado hasta peso constante a una temperatura de 212 a 230°F (100 a 100°C), Déjese enfriar hasta una temperatura adecuada para el manejo, cúbrase con agua y déjese en reposo por 24 ± 4 horas (Nota 3). Debe quitar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, extiendase la muestra sobre una superficie plana expuesta a una ligera corriente de aire caliente y remuévase frecuentemente para asegurar un secado uniforme. Continúese esta operación tal que pueda fluir libremente. Colóquese entonces una porción de agregado fino parcialmente seco y suelto dentro del molde, compáctese ligeramente sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo, golpee ligeramente la superficie 25 veces con el apisonador y levante el molde verticalmente. Si se tiene humedad libre el cono del agregado fino conservará su forma. Continúese el secado moviendo constantemente y ensaye a intervalos frecuentes hasta que el cono de agregado fino pierda su forma al retirar el cono metálico. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado la condición de saturado y superficialmente seco (Nota 4). Si se desea, se pueden emplear procedimientos mecánicos como ayuda para alcanzar la condición de saturado y superficialmente seco especificada.

Nota. 2.- El proceso de cuarteo y el uso correcto del separador de muestras son discutidos en el manual de ensayos de concreto.

Nota 3.- Cuando se van a utilizar los valores de Absorción y de gravedad específica como base para proporcionar mezclas de concreto con agregados usados normalmente en condición húmeda, el requisito de secado inicial hasta peso constante puede ser eliminado y si la superficie de las partículas se ha mantenido seca, el remojo de las 24 horas puede ser eliminado. Los valores para la absorción y la gravedad específica en la condición de saturado y superficialmente seco pueden ser significativamente mayores para los agregados no secados en el horno antes del remojo, que para el mismo agregado tratado de acuerdo con 3.1.

Nota 4.- El procedimiento descrito en la sección 3 tiene por objeto asegurar que la primera determinación por tanteo se efectúe con algo de agua libre en la muestra.

Si el cono de agregado fino pierde su forma en el primer tanteo, el agregado fino se ha secado más allá de la

condición de saturado y superficialmente seco. En este caso se pueden mezclar completamente unos pocos centímetros cúbicos de agua con el agregado fino dejando después la muestra en un recipiente cubierto durante 30 minutos. El proceso de secado y ensaye para la condición de flujo libremente ya se indicó.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1. Introduzca inmediatamente en el picnómetro una muestra de 500 grs. del agregado fino, preparada como se describió en la sección 3, y llénelo con agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Gire, invierta y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire. Ajuste la temperatura a $73.4 \pm 0.1^\circ\text{F}$ ($23 \pm 1.7^\circ\text{C}$), si es necesario, por inmersión en agua circulante, lleve el nivel del picnómetro hasta la capacidad calibrada. Determine el peso total del picnómetro, la muestra y el agua (Nota 6). Anote este y todos los pesos con una aproximación de 0.1 gramos.

Nota 5.- Una cantidad mayor de 500 gramos, pero no menor de 50 gramos, puede usarse si se tiene el cuidado de substituir por el peso de la muestra la cantidad "500" donde quiera que aparezca en las fórmulas 5.1, 6.1, 7.1 y 8.1.

Si el peso usado es menor de 500 gramos, los límites de precisión en los pesos y medidas deberán ser modificados proporcionalmente.

Nota 6.- Como una alternativa, la cantidad de agua necesaria para llenar el picnómetro puede ser determinada volumétricamente, usando una bureta con una precisión de 0.15 cm³, peso total del picnómetro, muestra y el agua se calculará como se indica a continuación"

$$C = 0.9976 V_a + 500 + W$$

Donde:

C = Peso del Picnómetro lleno con la muestra más el agua.

V_a = Volumen de agua añadida al picnómetro en cm³.

W = Peso del picnómetro vacío, en gramos.

- 4.2 Remueva el agregado fino del picnómetro, seque hasta peso constante a la temperatura de 212 a 230 °F (100 a

- 7.1 Calcúlese la gravedad específica aparente, 73.4/73.4 °F (23/23°C), como se define en las definiciones ASTM E-12, como sigue:

$$\text{Gravedad específica aparente} = - A / (B + A - C)$$

8. ABSORCION

- 8.1 Calcúlese el porcentaje de absorción, según se define en las definiciones C-125, como sigue.

$$\text{Absorción} = (500 - A)/A \times 100$$

9. PRECISION

- 9.1 Los resultados de los ensayos realizados cuidadosamente en agregados de peso normal en un laboratorio, usando el mismo espécimen, deben tener como máximo las siguientes variaciones; especímenes diferentes de la misma muestra pueden producir variaciones mayores.

- 9.1.1 La precisión en la determinación de la gravedad específica de un operador único y varios operadores será (2Ds Límite) o sea menor que ± 0.31 del promedio del porcentaje de absorción.- Las pruebas con diferentes operadores son probablemente menos precisas.- La diferencia entre ensayos por medio del mismo operador sobre la misma muestra, no deberá exceder 0.45 más que el 5% de las veces (Límites 2 Ds).-

ANEXO No. 5

ESPECIFICACIONES ESTANDAR

AGREGADOS DE PESO LIGERO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL

NORMA ASTM C-330-77

Esta norma se ha emitido bajo la designación fija C-330; el número próximo siguiente a la designación indica el año de opción original o en el caso de revisión, el año de la última revisión.- Un número entre paréntesis indica el año de la última reprobación.

1. ALCANCES

- 1.1 Estas especificaciones se refieren a agregados del peso ligero destinados para el uso en concreto estructural el cual sea de primordial importancia la ligereza de peso y la resistencia a la compresión del concreto.- Los procedimientos involucrados en estas especificaciones no incluyen métodos para control del concreto en la obra.
NOTA 1.- Los valores establecidos en las unidades acostumbradas en los Estados Unidos serán considerados como estándar.

Los equivalentes de las unidades acostumbradas en los Estados Unidos al sistema métrico dadas con esta norma son aproximados.

Nota 2.- No están cubiertos en concretos para propósitos tales como resistencia al fuego, utilización como material de relleno, para construcciones de concreto cuyo empleo se basa en pruebas de carga y no en procedimientos convencionales de diseño.

2. CARACTERISTICAS GENERALES

- 2.1 En estas especificaciones se incluyen dos tipos generales de agregados de peso ligero.-
- 2.1.1 Agregados preparados por medio de expansión, calcinación o sinterización de productos tales como escoria de altos hornos, arcilla, diatomita, ceniza volante o pizarra.-
- 2.1.2 Agregados preparados por medio de procesamiento de materiales naturales como piedra pómez, escoria o toba.-

- 2.2 Los agregados estarán compuestos predominantemente de materiales celulares de peso ligero y materiales inorgánicos granulares.

3. GRADUACION

- 3.1 Obtener aproximadamente 1000 grs. de agregado fino de la muestra por medio del uso de un separador de muestras o por cuarteo (Nota 2). secar la muestra en un recipiente adecuado hasta peso constante a una temperatura de 212 a 230°F (100 a 100°C), Déjese enfriar hasta una temperatura adecuada para el manejo, cúbrase con agua y déjese en reposo por 24 ± 4 horas (Nota 3). Debe quitar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, extiéndase la muestra sobre una superficie plana expuesta a una ligera corriente de aire caliente y remuévase frecuentemente para asegurar un secado uniforme. Continúese esta operación tal que pueda fluir libremente. Colóquese entonces una porción de agregado fino parcialmente seco y suelto dentro del molde, compáctese ligeramente sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo, golpee ligeramente la superficie 25 veces con el apisonador y levante el molde verticalmente. Si se tiene humedad libre el cono del agregado fino conservará su forma. Continúese el secado moviendo constantemente y ensaye a intervalos frecuentes hasta que el cono de agregado fino pierda su forma al retirar el cono metálico. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado la condición de saturado y superficialmente seco (Nota 4). Si se desea, se pueden emplear procedimientos mecánicos como ayuda para alcanzar la condición de saturado y superficialmente seco especificada.

Nota. 2.- El proceso de cuarteo y el uso correcto del separador de muestras son discutidos en el manual de ensayos de concreto.

Nota 3.- Cuando se van a utilizar los valores de Absorción y de gravedad específica como base para proporcionar mezclas de concreto con agregados usados normalmente en condición húmeda, el requisito de secado inicial hasta peso constante puede ser eliminado y si la superficie de las partículas se ha mantenido seca, el remojo de las 24 horas puede ser eliminado. Los valores para la absorción y la gravedad específica en la condición de saturado y superficialmente seco pueden ser significativamente mayores para los agregados no secados en el horno antes del remojo, que para el mismo agregado tratado de acuerdo con 3.1.

Nota 4.- El procedimiento descrito en la sección 3 tiene

por objeto asegurar que la primera determinación por tanteo se efectúe con algo de agua libre en la muestra.

Si el cono de agregado fino pierde su forma en el primer tanteo, el agregado fino se ha secado más allá de la condición de saturado y superficialmente seco. En este caso se pueden mezclar completamente unos pocos centímetros cúbicos de agua con el agregado fino dejando después la muestra en un recipiente cubierto durante 30 minutos. El proceso de secado y ensaye para la condición de flujo libremente ya se indicó.

4. PROCEDIMIENTO

41. Introduzca inmediatamente en el picnómetro una muestra de 500 grs. del agregado fino, preparada como se describió en la sección 3, y llénelo con agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Gire, invierta y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire. Ajuste la temperatura a $73.4 \pm ^\circ\text{F}$ ($23 \pm 1.7 \text{ }^\circ\text{C}$), si es necesario, por inmersión en agua circulante, lleve el nivel del picnómetro hasta la capacidad calibrada. Determine el peso total del picnómetro, la muestra y el agua (Nota 6). Anote este y todos los pesos con una aproximación de 0.1 gramos.

Nota 5.- Una cantidad mayor de 500 gramos, pero no menor de 50 gramos, puede usarse si se tiene el cuidado de substituir por el peso de la muestra la cantidad "500" donde quiera que aparezca en las fórmulas 5.1, 6.1, 7.1 y 8.1.

Si el peso usado es menor de 500 gramos, los límites de precisión en los pesos y medidas deberán ser modificados proporcionalmente.

Nota 6.- Como una alternativa, la cantidad de agua necesaria para llenar el picnómetro puede ser determinada volumétricamente, usando una bureta con una precisión de 0.15 cm³, peso total del picnómetro, muestra y el agua se calculará como se indica a continuación"

$$C = 0.9976 V_a + 500 + W$$

Donde:

C = Peso del Picnómetro lleno con la muestra más el agua.

V_a = Volumen de agua añadida al picnómetro en cm³.

W = Peso del picnómetro vacío, en gramos.

- 4.2 Remueva el agregado fino del picnómetro, seque hasta peso constante a la temperatura de 212 a 230 °F (100 a 110 °C), enfríe al aire, a la temperatura ambiente, durante 30 a 40 minutos y péselo.

Nota 7.- Si el frasco volumétrico se usa y calibra para una precisión de 0.15 cm³ a 20 °C, el peso del frasco lleno con agua puede ser calculado como sigue:

$$B = 0.9976 V + W$$

Donde:

B = Peso del frasco lleno con agua, grs.

V = Volumen del frasco, cm³.

W = Peso del frasco vacío, grs.

5. GRAVEDAD ESPECIFICA EN MASA.

- 5.1 Calcúlese la gravedad específica en masa 73.4/73.4 °F (23/23°C), como se define en las normas ASTM B-12 como sigue:

$$\text{Gravedad específica en masa} = A / (B + 500 - C)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el horno, en gramos.

B = Peso del picnómetro con agua, en gramos.

C = Peso del picnómetro con la muestra y agua hasta la marca de calibración, en gramos.

6. GRAVEDAD ESPECIFICA EN MASA (Condición Saturada y superficialmente seca).

- 6.1 Calcúlese la gravedad específica en masa 73.4/73.4°F (23/23°C), basándose en el peso del agregado saturado y superficialmente seco, como sigue:

$$\text{Gravedad específica en masa} = 500 / (B + 500 - C)$$

(Base saturada y superficialmente seca).

7. GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE

- 7.1 Calcúlese la gravedad específica aparente, 73.4/73.4 °F (23/23°C), como se define en las definiciones ASTM E-12, como sigue:

$$\text{Gravedad específica aparente} = A / (B + A - C)$$

8. METODOS DE ENSAYE PARA DETERMINAR PROPIEDADES PARA LA ELABORACION DE CONCRETO.

- 8.1 Las propiedades para la elaboración del concreto de agregados de peso ligero se determina de acuerdo con los siguientes métodos, usando la misma relación entre agregados finos y gruesos de peso ligero que se propone emplear.- Excepto para la resistencia al agrietamiento por tensión; se requieren tres especímenes para cada tipo de ensaye.-

8.1.1 Resistencia a la compresión.- Método ASTM C-39.

Ensaye resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.- Los especímenes de ensaye se elaborarán de acuerdo con el Método ASTM C-192 Elaboración y Curado en laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensaye.-

Curar los Especímenes de Acuerdo con el Método ASTM C-192, o de acuerdo con el procedimiento usado para determinar el peso unitario (Ver 8.1.3)

- 8.1.1.1 A la edad de 7 días, los especímenes se retirarán del cuarto húmedo y se almacenarán a una temperatura de 73.4 + 2 °F (23 + 1.1 °C) y a una humedad relativa de 50 + 5% hasta el momento de ensaye.

- 8.1.2 Resistencia al agrietamiento por Tensión. Prepárense los especímenes cilíndricos para ensaye de 7 x 12 pulgadas (152 x 305 mm) de acuerdo con el método C-192, elaboración y curado en laboratorio de Especímenes de concreto para ensaye y ensayarlo de acuerdo al método ASTM C-496.

Ensaye para la resistencia al Agrietamiento por Tensión de Especímenes Cilíndricos de concreto.

- 8.1.3 Peso Unitario del Concreto. Método ASTM C-567. Ensaye para peso unitario del Concreto ligero Estructural. Utilizar los procedimientos de la sección 4 del método ASTM C-567.

8.1.4 Contracción del Concreto. Método ASTM C-157, Ensaye para cambio de longitud de Morteros de cemento y Concreto Endurecidos, con las siguientes excepciones:

8.1.4.1 Preparar la mezcla de concreto en proporción de una parte de cemento portland a seis partes de agregados combinados medidos en volúmenes en estado seco suelto. Ajustar el contenido de agua de tal manera que se produzca un revenimiento de 2 a 3 pulq. (50 a 76 mm) y compactar completamente el concreto en moldes metálicos de 2 x 2 x 11 1/4 pulq. (50 x 50 x 286 mm) para agregados con un tamaño máximo de 1/1 pulgada. (12.7 mm.) o menos, la superficie de concreto se alisará con una llana metálica.-

8.1.4.2 Curar los especímenes de ensaye como se prescribe en el numeral 8.1.1 para los especímenes de ensaye a comprensión.- Hacer las mediciones iniciales de longitud inmediatamente después de retirar los especímenes del almacenamiento húmedo.- Hacer medidas subsecuentes a los 28 y 100 días.-

8.1.4.3 Calcular la diferencia de longitud de los especímenes, al removerlos del almacenamiento húmedo a una edad de 7 días y al efectuar la medición final a una edad de 100 días con aproximación de 0.01% de la longitud efectiva de medición y reportarla como la contracción por secado de los especímenes. Reportar el promedio de contracción por secado de los especímenes como la contracción por secado del concreto.

8.1.5 Ensaye para materiales que provocan desconchamiento.- Prepare especímenes de concreto para ensayos de materiales que provocan desconchamiento de acuerdo con el numeral 8.1.4.1 curar y procesar en autoclave los especímenes de acuerdo con el método C-151, Ensaye de expansión en autoclave de Cemento Portland (3), Inspeccionar Visualmente los especímenes tratados en autoclave para determinar el número de zonas descochadas en la superficie.- Reportar el número promedio de zonas descochadas por espécimen.

8.1.6 Congelamiento y Descongelamiento.- Hacer ensayos de congelamiento y descongelamiento del concreto cuando se requiera de acuerdo con el siguiente método: ASTM C-666, Ensaye para Resistencia del Concreto al Congelamiento y Descongelamiento Rápido.

TABLA Nº 4

Peso unitario promedio máximo a los 28 días secado al aire.-		Resistencia promedio al agrietamiento por tensión a los 28 días.		Resistencia promedio mínima a la compresión a los 28 días.-	
lb/pie ³	kg/m ³	PSI (MPa)	(KG/CM ²)	PSI (MPa)	(KG/CM ²)
Todos los agregados de peso ligero					
100	(1760)	320 (2.2)	(2.4)	4000 (28)	(280)
105	(1680)	320 (2.1)	(21.4)	3000 (21)	(210)
100	(1602)	290 (2.0)	(20.3)	2500 (17)	(175)
Arena/Agregado Ligero					
115	(1840)	330 (2.3)	(23.1)	4000 (28)	(280)
110	(1760)	310 (2.1)	(27.1)	3000 (21)	(210)
105	(1680)	300 (2.1)	(21.0)	2500 (17)	(175)

ANEXO No. 6
GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA TIERRA BLANCA
POR MEDIO DEL METODO DE MATRACES

GRAVEDAD ESPECIFICA

Se define como la gravedad específica de un suelo; a la relación entre el peso de los sólidos y el peso del volumen de agua que desalojan. El valor de la gravedad específica queda expresado como un número abstracto y se determina a través del uso de matraces calibrados a distintas temperaturas.

CALIBRACION DE MATRAZ

El volumen de un peso conocido de partículas de suelo puede obtenerse utilizando un recipiente de volumen conocido y el principio de Arquimides, según el cual un cuerpo sumergido dentro de una masa de agua desplaza un volumen de agua igual al del cuerpo sumergido.

El recipiente de volumen conocido es el matraz, el cual mide un volumen patrón de 500 ml. de agua destilada a 20°C, a temperaturas mayores el volumen será ligeramente mayor; a temperaturas menores de 20°C el volumen será ligeramente menor; bien debido a que los cambios de temperatura provocan variaciones en el volumen del matraz.

Para este estudio se utilizó agua común en lugar de agua destilada, si la temperatura del agua común no es exactamente 20°C es necesaria la CURVA DE CALIBRACION para determinar el volumen del matraz más agua.

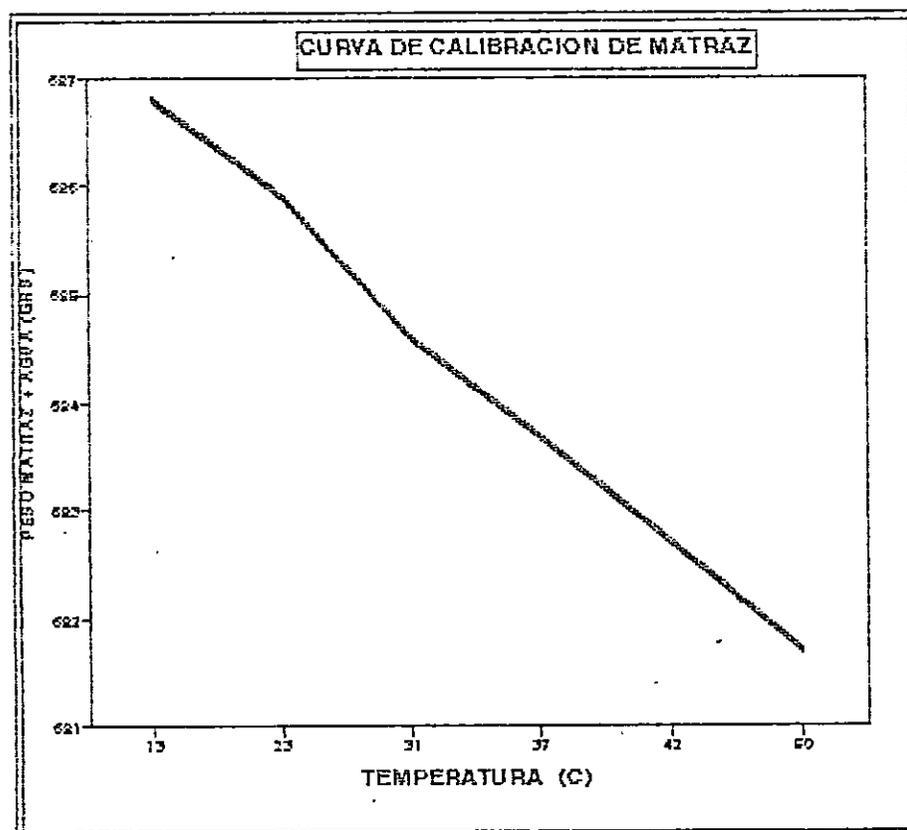
Los datos utilizados para graficar la Curva de

Calibración se muestran a continuación:

Peso de matraz seco y limpio: 187.20 grs.

TEMPERATURA (C)	PESO MATRAZ + AGUA
50	681.7
42	682.7
37	683.7
31	684.6
23	685.9
13	686.8

Con los datos de la tabla anterior se realiza una gráfica de calibración que tendrá como ordenadas, los pesos del matraz con agua hasta la marca de aforo y como abscisas, las temperaturas correspondientes.



Del gráfico anterior se obtiene el valor correspondiente al peso del matraz + agua contra temperatura de ensaye, luego se sustituye en la fórmula siguiente, junto con todos los datos restantes:

$$S_s = \frac{\infty W_s}{W_{mw} + W_s - W_{mws}}$$

S_s = gravedad específica del suelo

W_s = peso del suelo seco

W_{mw} = peso del matraz + agua

W_{mws} = peso del matraz + agua + suelo

∞ = corrección por temperatura

$$\infty = \frac{\otimes T}{\otimes 20^\circ C}$$

$\otimes 20^\circ C$

El resultado obtenido para la muestra ensayada es el siguiente.

TABLA 5

BANCO DE PRESTAMO	1
1. MATRAZ No.	1
2. CAPACIDAD DEL MATRAZ (CM3)	500.00
3. PESO DEL MATRAZ (GR)	187.20
4. PESO MATRAZ MAS. SUELO SECO (GR)	287.20
5. PESO DEL SUELO SECO (W_s)	100
6. PESO MATRAZ, + AGUA +SUELO (W_{mws})	739.20
7. PESO MATRAZ + AGUA	685.80
8. TEMPERATURA DE ENSAYO	24 °C
9. GRAVEDAD ESPECIFICA.	2.144

ANEXO No. 7

PESO VOLUMETRICO DE TIERRA BLANCA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR				
TIPO DE MUESTRA OBTENIDA		: TIERRA BLANCA		
LUGAR DE EXTRACCION		: SAN MARCOS		
UBICACION		: COLONIA SANTA FE, SAN MARCOS		
ANALISIS FISICO		: PESO VOLUMETRICO		
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (Kg/M3)				
Pvs.1 (Kgs/m3)	Pvs.2 (Kgs/m3)	Pvs.3 (Kgs/m3)	Pvs.4 (Kgs/m3)	Pvs promedio (Kgs/m3)
1014.83	1030.69	1014.83	1030.69	1022.76