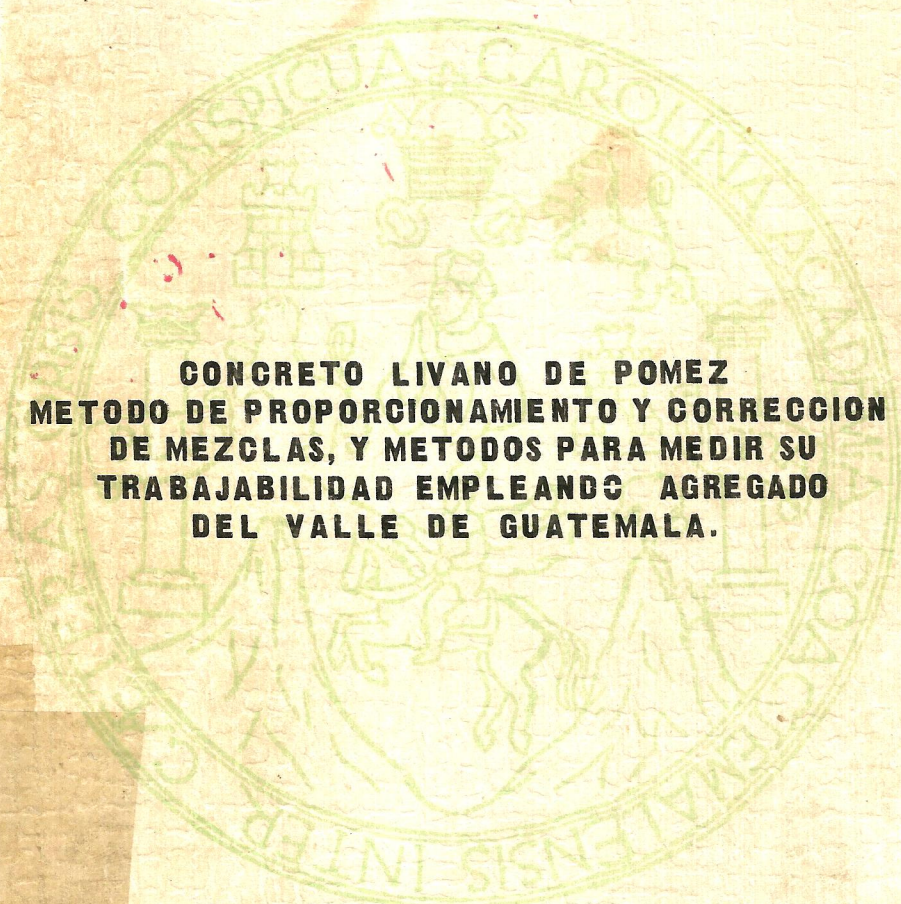


ANIBAL RODAS MAZARIEGOS



**CONCRETO LIVANO DE POMEZ
METODO DE PROPORCIONAMIENTO Y CORRECCION
DE MEZCLAS, Y METODOS PARA MEDIR SU
TRABAJABILIDAD EMPLEANDO AGREGADO
DEL VALLE DE GUATEMALA.**

GUATEMALA, ABRIL DE 1969.

**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

**"CONCRETO LIVIANO DE POMEZ
METODO DE PROPORCIONAMIENTO Y CORRECCION
DE MEZCLAS Y METODOS PARA MEDIR SU
TRABAJABILIDAD EMPLEANDO AGREGADO DEL
VALLE DE GUATEMALA"**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la

Facultad de Ingeniería

de la

Universidad de San Carlos de Guatemala

por:

ANIBAL RODAS MAZARIEGOS

En el acto de su Investidura de:

INGENIERO CIVIL

Guatemala, Abril de 1969.

DL
08
TL(137)C

JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano:	Ing. Amando Vides Tobar
Vocal Primero:	Ing. Marco Antonio Cuevas
Vocal Segundo:	Ing. Francisco Ubieta B.
Vocal Tercero:	Ing. Adolfo Behrens
Vocal Cuarto:	Br. Rolando Llovera L.
Vocal Quinto:	Br. Víctor H. González
Secretario:	Ing. Héctor Centeno B.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Amando Vides T.
Vocal Primero:	Ing. Otto E. Becker
Examinador:	Ing. Gonzalo Barillas
Examinador:	Ing. Moisés Cohen
Secretario:	Ing. José Massanet P.

DEDICO ESTE ACTO:

.....

A mis Padres:

David Rodas Hernández
Susana Mazariegos de Rodas

Con mi agradecimiento por sus constantes sacrificios y orientación hacia un futuro mejor.

A mi Querida Esposa:

María Irene Hurtarte de Rodas

Como un testimonio de mi gratitud por su cooperación, ayuda espiritual y su empeño en ver terminados mis estudios.

A mis Hijos:

Alma Maritza
Alicia
Luis David
Mario Estuardo

A mis compañeros de trabajo.

Al Centro de Investigaciones de Ingeniería.

A la Facultad de Ingeniería.

RECONOCIMIENTOS

Deseo dejar constancia de mi agradecimiento al Ingeniero Emilio Beltranena Matheu, Director del Centro de Investigaciones de Ingeniería, por su orientación y dirección de este trabajo de tesis.

Al Sr. Rolando Farfán Cárdenas, laboratorista del C.I.I. por su decidida y entusiasta colaboración.

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, bajo la clasificación No. 36 C 68, dentro del Convenio Instituto Nacional de la Vivienda-Facultad de Ingeniería para 1968.

GRUPO DE TRABAJO

Jefe:	Ing. Inf. Aníbal Rodas M.
Laboratorista:	Rolando Farfán Cárdenas
Ayudante de Laboratorio:	Oved Rosendo Hernández C.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con lo establecido por la ley universitaria tengo el honor de presentar ante vosotros mi trabajo de tesis titulado:

"CONCRETO LIVIANO DE POMEZ
METODO DE PROPORCIONAMIENTO Y CORRECCION
DE MEZCLAS Y METODOS PARA MEDIR SU
TRABAJABILIDAD EMPLEANDO AGREGADO DEL
VALLE DE GUATEMALA"

Tema que me fue asignado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería.

CONTENIDO:

1. Introducción.
2. Historial.
3. Definición y Clasificación.
4. Descripción General del Trabajo.
5. Método de proporcionamiento de mezclas de concreto liviano
 - 5.1- Propiedades de los materiales
 - a) Propiedades de las arenas seleccionadas.
 - b) Propiedades del cemento.
 - c) Propiedades del agua.
 - d) Admixturas.
 - 5.2- Consideraciones acerca del diseño de mezclas de concreto liviano.
 - 5.3- Descripción general del Método.
 - 5.4- Ejemplo típico de cálculo de proporcionamiento.
 - a) Desarrollo.
 - b) Resumen.
 - 5.5- Conclusiones para el método presentado.

CONTENIDO:

-II-

6. Trabajabilidad del concreto liviano y sus métodos de medida
 - 6.1- Introducción.
 - 6.2- Los materiales y su influencia en la trabajabilidad
 - a) Proporcionamiento.
 - b) Contenido de agua.
 - c) Granulometría y forma de las partículas.
 - d) Contenido de aire atrapado.
 - 6.3- Descripción de métodos para medir la trabajabilidad del concreto
 - a) Ensayo de revenimiento.
 - b) Ensayo de escurrimiento.
 - c) Ensayo de manejabilidad.
 - d) Ensayo de remoldeo sin anillo de inmersión.
 - e) Ensayo de remoldeo vibratorio.
 - f) Ensayo de penetración.
 - g) Ensayo de densidad.
 - 6.4- Descripción y Resultados de métodos estudiados
 - a) Ensayo de revenimiento.
 - b) Ensayo de penetración.
 - c) Ensayo de fluidez.
 - d) Ensayo de remoldeo.
 - e) Ensayo del factor compactante.

CONTENIDO:

-III-

- 6.5- Comparación de métodos estudiados.
- 6.6- Conclusión.

- 7. Conclusión General.

- 8. Bibliografía.

Introducción:

El estudio que se presenta como tesis, es producto del trabajo realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería durante algún tiempo con el objeto de definir las bases del proporcionamiento y corrección de mezclas de concreto liviano estructural a base de agregados de pómez naturales de poco peso y el estudio de la medida de su trabajabilidad.

El propósito del estudio fue profundizar y ampliar los estudios realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, entre los que se destaca la tesis del Ing. Bernardo Morales (1962) que cubrió en forma general el concreto liviano. Entre los puntos que requerían mayor estudio se destacó en dicha tesis el referente a la necesidad de encontrar un método de diseño racional para el proporcionamiento de mezclas aplicado a los agregados livianos existentes en nuestro suelo, lo cual motivó que se emprendiera el estudio que hoy se presenta.

El trabajo fue dividido en dos partes:

- 1- Método de proporcionamiento y corrección de mezclas de concreto liviano.
- 2- Métodos para medir trabajabilidad en concreto liviano.

La primera parte del estudio se refiere al diseño de mezclas que se consideraron más adaptables a nuestros agregados, tomando en consideración las características tan peculiares de los mismos. Es un estudio basado en la experiencia obtenida a través de varios años de estar trabajando con concreto liviano, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

La segunda parte fue realizada como corolario del primer estudio, y presenta algunos métodos que pueden emplearse en el laboratorio y en la obra para medir características tales como Consistencia, Asentamiento, Plasticidad del concreto liviano y lograr un producto uniforme por medio de un control normalizado, ya que uno de los obstáculos del control en obra era la incertidumbre sobre la eficacia de los métodos utilizados con concreto normal.

El presente trabajo es parte del estudio general que se lleva a cabo en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, con el objeto de estudiar todas las características del concreto liviano.

El próximo estudio por presentarse pertenece a Tesis del Ing. Inf. Víctor Figueroa U., referente a las características físicas del concreto liviano endurecido y curado acelerado del mismo.

No cabe duda que al completar el estudio del concreto liviano simple, se estará en condiciones de abarcar un campo muy grande de investigación que incluye concreto reforzado, preesforzado, y sus aplicaciones a elementos prefabricados, que redundará en un mayor progreso de la construcción en Guatemala.

2. HISTORIAL

Aún cuando el concreto liviano se ha hecho muy conocido en la actualidad, no representa en ningún caso una nueva clase de material de construcción.

A fines del siglo XIX se utilizó en los Estados Unidos de Norteamérica, Inglaterra y en muchos otros lugares en forma de concreto con agregado de escoria de hulla. Su empleo no se limitó a viviendas y habitaciones populares de bajo costo sino que también se utilizó en ciertas partes de edificios y monumentos. Se sabe también que los romanos usaron frecuentemente una forma de concreto liviano en sus construcciones: tal es el caso de la cúpula de 44 m de diámetro del Panteón, en Roma, construida en el siglo II D.C., la cual se compone en gran parte de un concreto fundido a base de agregado de pómez.

La arcilla expandida ha sido utilizada en Estados Unidos al igual que la escoria espumosa se usó en Inglaterra, y el interés del concreto liviano se propagó rápidamente a Holanda, Francia, Alemania, Bélgica y otros lugares.

Hace veinte años sólo se disponía de dos tipos de agregado de peso liviano; en la actualidad hay más de una docena de ellos.

3. DEFINICION Y CLASIFICACION

Concreto liviano es en general, un concreto de características propias que por un medio o por otro se ha hecho más liviano que el concreto convencional de cemento, arena y piedra, el cual ha sido por mucho tiempo el material empleado en las construcciones.

Definición de Concreto Liviano de Tipo Estructural

Se considera concreto liviano de tipo estructural, aquel fabricado con cemento portland, agua y agregados livianos o con agregados normales y adición de espuma o agentes gasificadores, que tengan una densidad (peso) menor de 1500 kg/m^3 (100 lb/pie^3) y que alcance una resistencia a compresión de 105.46 kg/cm^2 (1500 lb/pulg^2) o mayor.

No hay una definición de aceptación general de concreto liviano. La ACI en el nuevo código de construcción, acepta como concreto liviano estructural, el fabricado con agregados livianos que tengan un peso menor de 70 libras por pie cúbico (De acuerdo con Normas ASTM C 330-60).

Las normas alemanas consideran concreto liviano al que pesa de 300 a 1600 kg/m^3 (20 a 100 lbs/pie^3) y estiman como capaz de soportar carga al que tenga peso no menor de 800 kg/m^3 (50 lbs/pie^3) y resistencia mayor de 25 kg/cm^2 (355.6 lbs/pulg^2). En trabajos varios se ha encontrado que hay autores que toman como concreto liviano el que para nosotros es concreto normal o pesado: 2200 kg/m^3 (137.34 lbs/pie^3).

Clasificación

La fabricación del concreto liviano puede alcanzarse

de distintas maneras, de ahí las diferentes clases que existen:

- a) Mediante agregados livianos naturales o artificiales.
- b) Mediante agregados de tamaño uniforme, los cuales con una reducida adición de material ligante, dejan espacios de aire entre los granos.
- c) Mediante la adición de sustancias que producen gas en el concreto de grano fino, lo que provoca la infiltración de glóbulos de aire.
- d) Mediante la adición de espuma o elementos espumantes, los cuales dejan pequeñas cavidades más o menos uniformes dentro del concreto de grano fino.

Debe existir una distinción en la designación general, ya que unos concretos livianos utilizan agregados livianos y otros concretos deben denominarse "Concreto de espuma" por la adición del elemento espumante y "Concreto gaseoso" o "Concreto expansionado", porque se requiere de sustancias que provocan reacciones con desprendimiento de gas, expansionando la masa.

Concreto de gas o gaseoso

El concreto gaseoso se obtiene con un mortero fluido de cemento de granulometría fina, al que se le adicionan sustancias generadoras de gas. El gas debe formarse en el momento oportuno y en forma de burbujas o alveolos uniformes que se mantengan hasta el endurecimiento de la masa; permitiendo así que el concreto pueda ser moldeado en bloques, losas, muros, etc., o en otros elementos constructivos. El fraguado y endurecimiento puede tener lugar en el medio ambiente o en un medio hermético con vapor a presión.

Los agentes generadores de gas más empleados son: el polvo de Aluminio desengrasado y carburo de calcio en polvo, polvo de aluminio con hidróxido de sodio y una mezcla de agua oxigenada con hipoclorito de calcio.

El polvo de aluminio forma una pasta de cemento alcalino de aluminato de calcio, desprendiéndose hidrógeno como generador de las burbujas. El carburo de calcio forma hidrato de calcio y acetileno que se desprende y el agua oxigenada con hipoclorito de calcio forma cloruro de calcio, agua y oxígeno que también se desprende.

Cualquiera que sea el procedimiento, conviene agregar a la mezcla granos de saponina o resina neutralizada, con ello se regula la tensión superficial y se retienen las burbujas generales en la mezcladora, impidiendo la pérdida de gas, y estabilizando la estructura celular.

Concreto de espuma

El concreto de espuma es fabricado con mortero fluido de cemento, de granulometría fina, pero sus alveolos se obtienen mediante agentes activos o espumógenos que al ser batidos forman burbujas de aire que al ser retenidas dan origen a este concreto. Su fraguado puede hacerse en el medio ambiente o en un medio hermético con vapor a presión.

La fabricación de este concreto se logra preparando separadamente el mortero de cemento y la espuma, los cuales son reunidos posteriormente para su amasado general adicional.

Los agentes más conocidos son: Emulsiones de jabón neutro y albúmina; derivados del ácido naftaleno - sulfónico y como estabilizador de la espuma el Silicado de So-

dio a 38° B; jabones de resina y silicato sódico, proteínas hidrolizadas, detergentes, etc.

En el C.I.I. de la Facultad de Ingeniería se estudió un concreto celular a base de espumantes de jaboncillo y oreja de conacaste.

El concreto celular o alveolar posee bajo coeficiente de conductibilidad térmica y además el coeficiente de contracción para estos concretos cuando fraguan en el medio ambiente puede contrarrestarse mediante el curado y secado de los elementos prefabricados durante suficiente tiempo antes de su colocación en obra; mediante un refuerzo adecuado que reparte las fisuras que puedan formarse; mediante el curado lento logrado con capas de pinturas, con lo cual se anula la contracción en lo posible; o mediante curado hermético con vapor a presión, con el cual se obtiene un producto de mejor calidad y que no requiere curado posterior.

Concreto con agregados livianos

Este concreto está alcanzando gran aplicación en la construcción, puesto que con él se logran fuertes reducciones de cargas muertas en los edificios de varios pisos y es como el concreto normal, hecho con materiales que mediante una dosificación racional, permiten resistencia prefijada, después de su endurecimiento.

La ventaja de usar concretos livianos con agregados livianos se marca grandemente al observar el uso que hacen algunos países que no contando con estos agregados en el terreno natural, los fabrican artificialmente tal como el caso de las arcillas, pizarras y esquistos expansionados.

En Guatemala, existen en abundancia materiales de

muy buena calidad, pero debido a que no existen normas que gobiernen su dosificación y control, no han tenido la atención que se merecen, a pesar de que una buena parte de nuestro suelo está formado por materiales livianos.

Descripción de agregados livianos

Los materiales más comúnmente empleados en la fabricación de concreto liviano a base de agregados livianos, son los siguientes:

a) Pómez

Proceden de rocas comunes de origen volcánico que existen en muchas partes del mundo y son suficientemente fuertes y livianos como para utilizarse como agregado de peso liviano. Su ligereza se debe al hecho de ser lavas esponjosas, cuyas celdas se formaron por escape de los gases al producirse el enfriamiento violento. La pómez es generalmente de color claro o casi blanco y tiene una textura bastante uniforme de pequeñas celdas interconectadas. Su peso es de 500 kg/m^3 a 1600 kg/m^3 y en Guatemala se encuentra en abundancia.

b) Pumecita

Formada por las partículas finamente divididas arrojadas por los volcanes y por su poco peso fue colocada en una capa especial por el viento, es suave y su peso es de $480 - 1000 \text{ kg/m}^3$.

c) Vidrio Vesicular

Es parecido a los anteriores con la diferencia de tener poros bastante más grandes que los que da la pómez.

d) Perlita

Podría decirse que es lava enfriada lentamente (parecida a la obsidiana), pero que contiene en su interior burbujas de regular tamaño, de gases atrapados. Muchas de estas partículas son fácilmente quebrables. Después de ser expandida en horno, la Perlita llega a tener pesos de 130 a 260 kg/m³.

e) Escoria Volcánica

Son rocas al igual que la pómez de origen volcánico, compuestas de partículas porosas y no clasificadas entre los grupos anteriores, generalmente proceden de rocas básicas.

f) Diatomita

Es esencialmente una sílice amorfa hidratada, derivada de los esqueletos remanentes de las plantas acuáticas microscópicas llamadas Diatomeas. Cuando se encuentra pura, la diatomita tiene un peso de 450 kg/m³ pero debido a impurezas tales como la arena y la arcilla puede ser bastante más pesada que ese valor. Se le obtiene de depósitos en muchas partes del mundo. La Diatomita sirve como aditivo para mejorar la trabajabilidad del concreto. Se ha utilizado también como la base de un agregado de peso liviano para el concreto.

En algunos países dicho agregado se usa en el concreto para aislamiento de hornos de altas temperaturas. Las Diatomitas (Tierras de Diatomeas) se sintetizan en hornos rotatorios a temperaturas del orden de los 1100° C para producir agregados de peso liviano.

g) Vermiculita

Es un material micáceo que al ser expandido puede llegar a tener hasta 30 veces su volumen original disminuyendo notablemente su densidad.

h) Arcilla expandida

Cuando ciertas arcillas o esquistos son calentados hasta un estado semiplástico, a veces llamado "punto de vitrificación incipiente", se expanden hasta siete veces su volumen original, debido a la formación de gases dentro de la masa a la temperatura de fusión. La estructura celular así formada se conserva al enfriarse, y el producto en esas condiciones puede ser usado como un agregado de peso liviano.

i) Escoria Expandida (Escoria Espumosa)

En la operación de un alto horno, el mineral de óxido de hierro es reducido a hierro metálico por el medio del coque, mientras los constituyentes de sílice y aluminio se combinan con la cal, para formar una escoria derretida que se deposita sobre el hierro fundido. Las escorias salen del alto horno en forma de corriente derretida a 1400°C - 1600°C . El enfriamiento con una cantidad controlada de agua, aplicada de tal manera que origine un atrapamiento del vapor dentro de la masa, origina un producto poroso de un carácter semejante a la pómez, llamado Escoria Espumosa o Escoria Expandida, la cual, al enfriarse, se usa como agregado de peso liviano. El producto se tritura y se criba separándolo en tamaños apropiados para agregados de peso liviano.

j) Pizarra Expandida

Cuando algunas pizarras se calientan rápidamente a una temperatura suficientemente alta, pierden sus características de estructuras laminares cerradas y se expanden a varias veces su grosor original resultando así un producto que contiene una gran cantidad de cavidades diminutas, lo suficiente liviano para flotar en el agua.

k) Cenizas Volantes de Carbón

Las cenizas de combustible en polvo se pueden describir como el residuo obtenido de la combustión de carbón pulverizado en los hornos modernos. Es un polvo gris semejante al cemento portland en finura y apariencia general. Debido a la finura se combina con los gases de combustión y debe ser removido de ellos por lavado húmedo. La ceniza consiste en diminutas partículas esféricas y por medio de un tratamiento térmico se puede hacer que estas pequeñas partículas se peguen entre sí, formando granos porosos de resistencia considerable.

- l) Los materiales orgánicos que se han utilizado como agregados, incluyen las cáscaras del arroz y café, fibras de madera, pero en mayor grado el producto vegetal llamado Aserrín. Estos materiales mezclados con cemento portland y una mixtura dan lugar a productos de construcción livianos conformados generalmente a máquina.

Como resumen a lo comentado sobre la fabricación del concreto liviano, se adjunta la Tabla No. 1 donde aparece una clasificación esquemática del mismo.

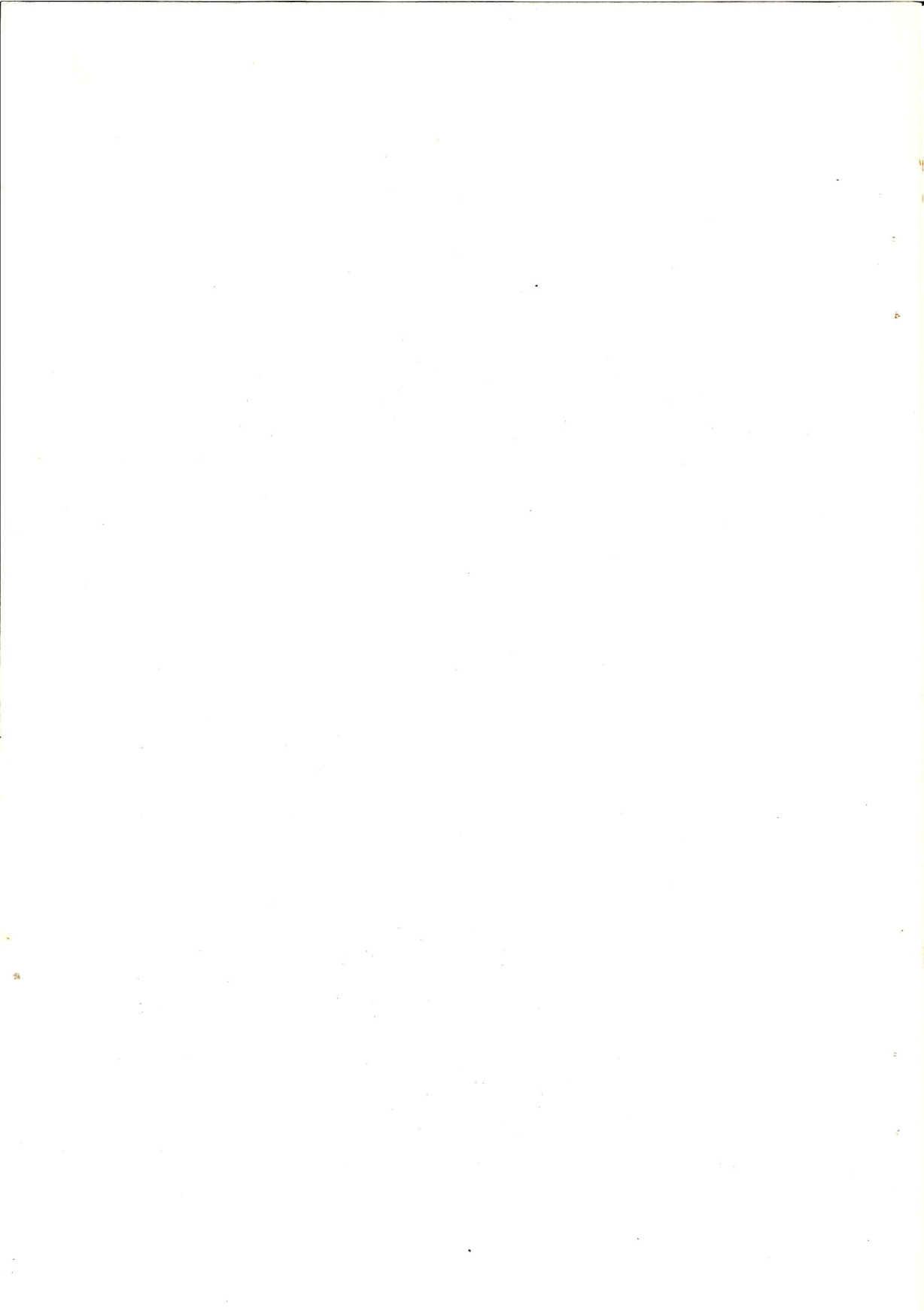
TABLA No. I

GRUPOS DE CONCRETO LIVIANO

<u>Concretos sin finos</u>	<u>Concreto con agregados livianos</u>	<u>Concreto Gaseoso</u>
1) Gravas.	1) Escoria de hulla,	Aeración Química
2) Piedras trituradas.	2) Escoria espumosa.	1) Método del polvo de Aluminio.
3) Escoria gruesa de hulla.	3) Arcilla expandida.	2) Método del peróxido de hidrógeno e hipoclorito de calcio.
4) Cenizas sinterizadas de combustibles en polvo.	4) Esquistos expandidos.	Mezclas Espumosas
5) Arcillas o esquistos expandidos.	5) Pizarras expandidas.	1) Espuma preformada.
6) Pizarras expandidas.	6) Cenizas sinterizadas de combustibles en polvo.	2) Espuma producida por la inclusión de aire.
7) Escorias espumosas.	7) Vermiculita exfoliada.	
	8) Perlita expandida.	
	9) Agregado de pómez.	
	10) Agregados orgánicos.	

Del Libro: "CONCRETO LIGERO"

A. Short y W. Kinniburgh. Pág. 19.



4. DESCRIPCION GENERAL DEL TRABAJO

El presente trabajo tuvo como finalidad, el estudio de dos puntos:

1. Método de proporcionamiento de mezclas de concreto liviano.
2. Estudio y comparación de métodos para medir trabajabilidad en concreto liviano.

Los agregados livianos seleccionados para este trabajo fueron obtenidos de 6 bancos, todos situados en el Valle de la Ciudad de Guatemala, y son los siguientes:

Banco No. 1: Arena de Villa Nueva en km. 13 Carretera a Amatitlán.

Banco No. 2: Arena de Mixco en km. 12 Carretera Interamericana.

Banco No. 3: Arena de Ciudad Universitaria en Zona 12.

Bancos Nos. 4, 5, 6: Arena de Finca Frutal en final de avenida Petapa.

En la fase inicial del trabajo fueron analizadas las características físicas y químicas de las arenas seleccionadas juntamente con los otros componentes (Cemento, agua e incluso de aire), para luego entrar a la fase principal del trabajo referente al diseño de mezclas. El capítulo de métodos para medir trabajabilidad en el concreto, es un estudio adicional realizado para establecer cuál es el método más adaptable a las condiciones del concreto liviano en estudio.

Propiedades de los materiales

1. Propiedades de las Arenas seleccionadas.
2. Propiedades del cemento.
3. Propiedades del agua.
4. Propiedades de admixturas.

Análisis Mineralógico de las Arenas Estudiadas

	Sílice SiO ₂	Oxido de Fe y Al Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	Oxido de Calcio CaO
Villa Nueva	68.18	23.50	8.20
Mixco	67.02	29.66	2.45
Ciudad Universitaria	70.80	26.12	2.98
Frutal No. 1	70.18	28.20	1.50
Frutal No. 2	70.70	28.15	1.14
Frutal No. 3	70.65	28.25	1.10

1. Propiedades de las Arenas Pómez seleccionadas

1.2 Características Físicas

Todo agregado que va a ser usado en concreto debe producir en el mismo, ciertas cualidades deseables y ser lo más económico posible.

Las propiedades y características deseables son: Resistencia al intemperismo y resistencia mecánica, soportar acciones erosivas de tráfico o abrasión, impermeabilidad, resistencia a la acción desintegrante de los sulfatos, resistente al ataque químico de aguas saladas o suelos agresivos y en particular como requisitos especiales: Peso liviano, aislamiento térmico o acústico, resistencia al fuego, resistencia a los rayos X o rayos gamma y demás radiaciones de origen nuclear.

La pómez proviene de una roca común de origen volcánico que existe en muchas partes del mundo y son suficientemente fuertes y livianas como para utilizarse como agregado de bajo peso. Como se indicó al principio, su ligereza se debe al hecho de ser lavas esponjosas, cuyas celdas se formaron por escape de los gases, al producirse enfriamiento brusco de la masa derretida; de hecho se les ha llamado como muchas propiedad "espumas sólidas". El pómez es generalmente de color claro o casi blanco y tiene una textura bastante uniforme de pequeñas celdas interconectadas.

En Guatemala se encuentra el pómez en casi toda la República, habiendo sido exploradas hasta la fecha, las existentes en Huehuetenango, Quezaltenango, Escuintla, Sacatepéquez, Guatemala, Santa Rosa y Jutiapa.

A continuación se adjunta un cuadro resumen de ca-

racterísticas arenas volcánicas de algunos lugares de la República, tomadas de un estudio realizado por el Ing. Ernesto Erdmenger.

— o —

Las características físicas estudiadas son las siguientes:

- 1.2.1 Peso Unitario Volumétrico Seco.
- 1.2.2 Granulometría.
- 1.2.3 Peso Específico.
- 1.2.4 Absorción.
- 1.2.5 Contenido de Materia Orgánica.

1.2.1 Peso Unitario Volumétrico Seco

El peso volumétrico es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kilogramos por metro cúbico. Existen dos valores para esta relación que dependen del sistema de acomodamiento que se le haya dado al material inmediatamente antes de la prueba; estos dos valores o de nominaciones son "Peso Volumétrico suelto" y "Peso Volumétrico apisonado".

En el Peso Volumétrico influye también el grado de humedad del agregado.

Procedimiento empleado

En una medida de 14.16 litros ($\frac{1}{2}$ pie cúbico) se vertió arena dejándola caer con un deslizamiento continuo hasta una altura de $\frac{1}{3}$ del volumen; luego fué apisonada con 25 golpes consecutivos; por medio de una varilla de $\frac{5}{8}$ " de diámetro y 24" de longitud terminada en punta esférica; esta operación se repitió 3 veces teniendo cuidado de no hacer penetrar la vari-

CUADRO COMPARATIVO DE ARENAS POMEZ DE ALGUNOS LUGARES DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA

No. Laboratorio	Lugar	GRANULOMETRIA SECA					COMPOSICION MINERALOGICA			
		No. 4	No. 10	No. 40	No. 100	No. 200	SiO ₂	CaO	MgO	F ₂ O ₃ y Al ₂ O ₃
A-0.751	San Raymundo - San Juan Sacatepéquez	93	83	58	41	34	66.29	2.36	0.43	21.99
A-0.790	Uspantán - Quiché	99	95	76	43	21	73.58	0.96	2.88	14.76
0.0870	Retalhuleu-Quezaltenango Km. 191	97	88	52	17	7	66.90	5.04	3.90	19.52
0.869	Carret. Pacífico Km. 125	96	87	70	50	32	73.78	1.38	0.33	16.16
0.871	Palestina-San Juan Ostuncalco	93	76	19	7	3	65.96	3.28	2.94	21.34
A-0873	San Juan Ostuncalco San Marcos	80	32	10	9	6	70.80	1.72	1.10	14.84
A-0876	Huehuetenango	56	16	6	3	1	70.12	0.90	0.47	18.10
A-0879	Quezaltenango	97	91	70	45	26	73.84	0.28	-.-	13.72
A-0880	San Cristóbal Totonicapán	98	92	73	43	23	74.32	1.06	0.79	13.42
A-0.882	Proyecto 28 CIA 191.80	98	91	70	--	23	73.94	1.64	1.00	14.22
A-0.958	Nahualate-Chicacao	91	76	43	18	9	70.24	1.24	0.33	17.34
A-0973	Amatitlán	89	60	11	3	2	62.26	3.96	0.30	2.38
A-1004	Panajachel	99	93	70	49	32	72.06	2.06	0.31	16.36

Tomado de: Comportamiento de Suelos Volcánicos en Construcción de Carreteras, por el Ing. Jorge Ernesto Erdmenger. Septiembre, 1962.

lla más del espesor de la capa que se trabajaba. En seguida fue enrasada la medida para obtener una superficie plana y pesada en una balanza con aproximación de $\frac{1}{2}$ gramo.

La especificación ASTM C-330 establece que el método de prueba para Peso Unitario debe ser el especificado en Norma ASTM C-29.

Los resultados obtenidos se adjuntan en Cuadro No. 2

TABLA No. 2

PESOS UNITARIOS DE ARENAS ENSAYADAS

Muestra de:	Peso Unitario en Kg/m ³
Villa Nueva	820.00
Mixco	829.30
Ciudad Universitaria	814.16
Frutal No. 1	818.00
Frutal No. 2	822.00
Frutal No. 3	816.65

A manera de información se apunta que la Especificación ASTM C-330 establece los límites para Peso Unitario de agregados livianos que van a ser usados en concreto liviano estructural, dados a continuación:

TABLA No. 3

PESO UNITARIO REQUERIDO PARA AGREGADO LIVIANO
A USARSE EN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL.

Tamaño	Máximo peso en kg/m ³
Agregado fino (4.76 mm No. 100)	1121.16
Agregado grueso (9.52 mm a No. 8)	880.91
Agregado combinado (9.52 mm a No. 100)	1041.08

Como se observa, nuestros agregados livianos poseen valores más bajos, lo que redundará en la obtención de un concreto de menos peso.

1.2.2 Granulometría

El tamaño de los granos juega un importantísimo papel en la dosificación del concreto y se determina pesando una muestra de agregado seco que se hace pasar a través de una serie de tamices. La proporción en que se encuentran los granos de distintos tamaños, expresados en tanto por ciento, constituye la composición granulométrica de la muestra.

Procedimiento empleado

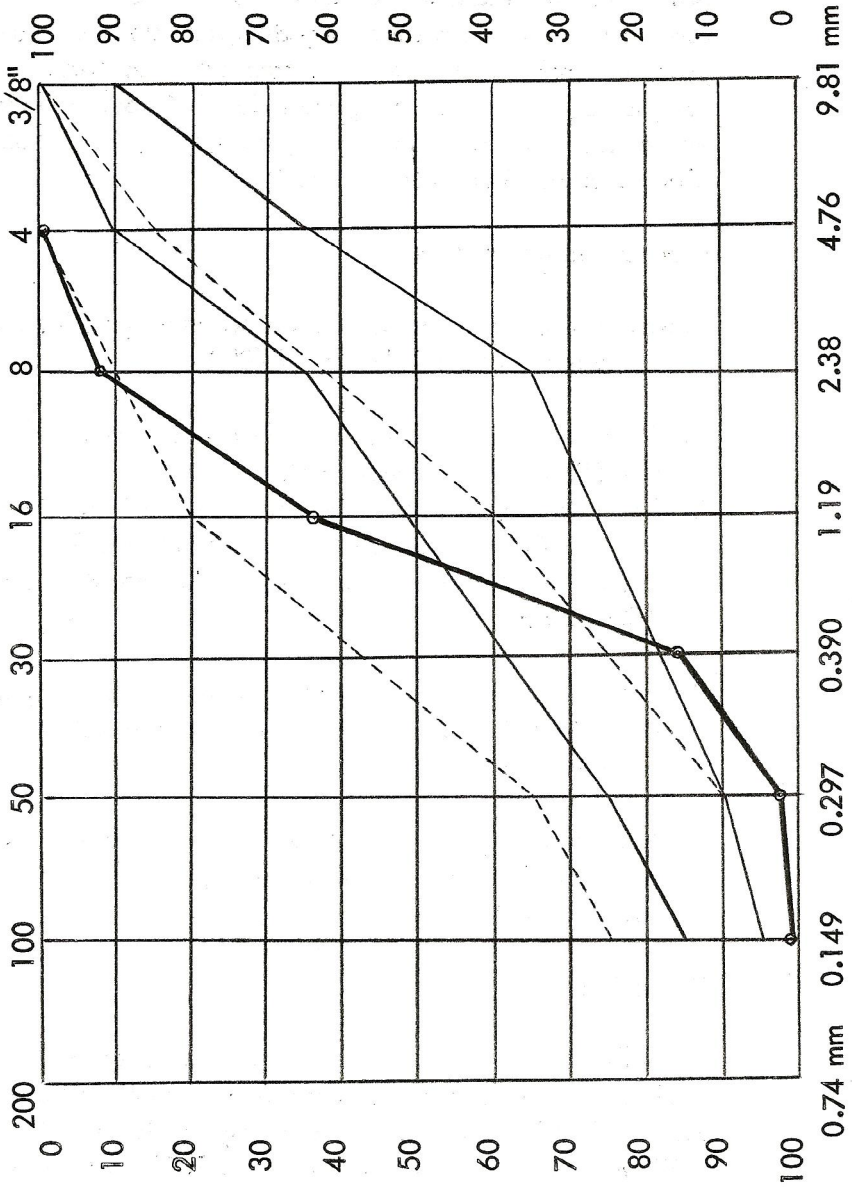
Nota: Todas las muestras fueron pasadas previamente por tamiz de 9.41 mm ($3/8''$).

1. Se cuarteó la muestra total de arena, hasta obtener 500 gramos de material.
2. La cantidad pesada se colocó en la serie de tamices: 4, 8, 16, 30, 50 y 100 (US Standard Sieves) y fue colocada en una tamizadora Ro-tap durante 15 minutos.
3. Las porciones retenidas en cada tamiz fueron pesadas y transformadas en por ciento acumulativo de la muestra total.
4. Los resultados obtenidos fueron trasladados a curvas granulométricas, las cuales aparecen en las hojas siguientes.

Discusión

En las curvas granulométricas de los agregados estudiados se indican dos límites de la especificación ASTM C-330; el indicado para agregado fino, de 4.76 mm (No. 4) a 149 micrón (No. 100) y el indica-

ARENA DE VILLA NUEVA
T A M I C E S

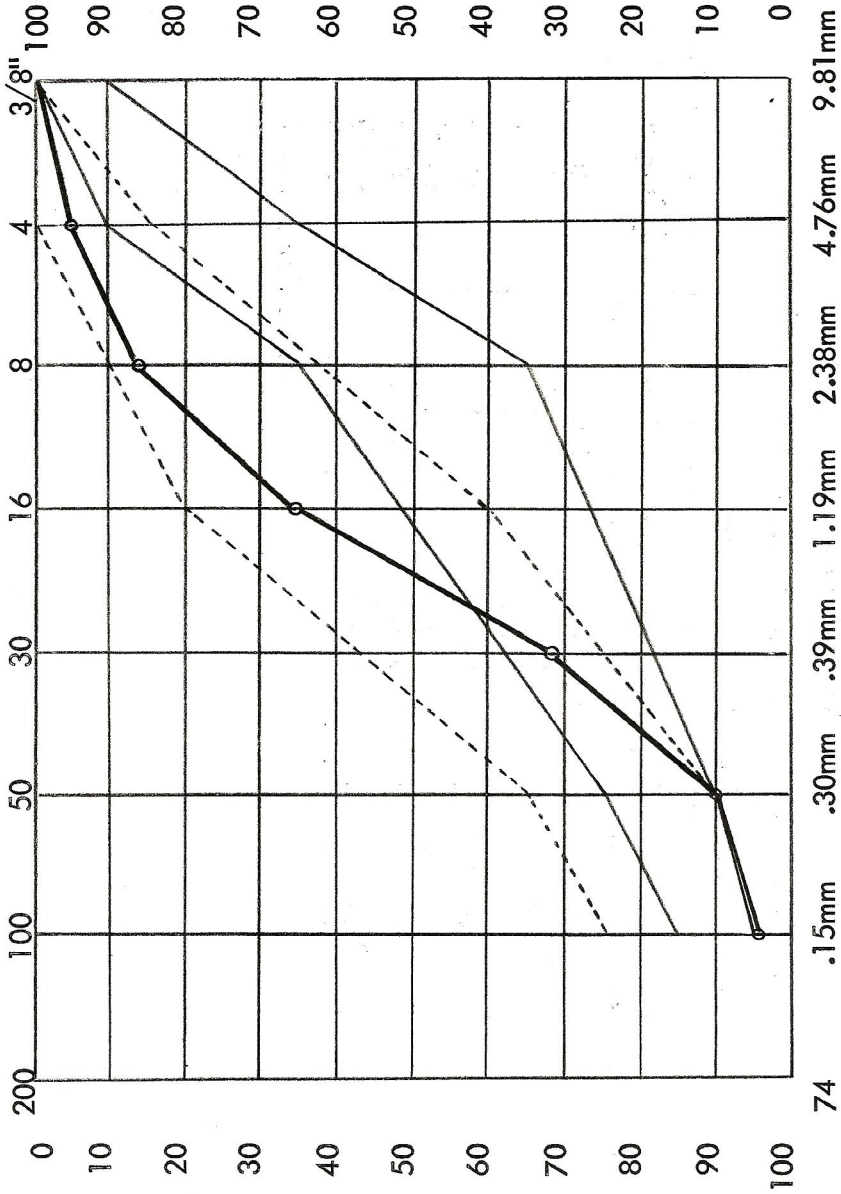


- Límites ASTM C-330 Agr. Fino
- Límites ASTM C-330 Agr. Combinado
- Agregado Pómez de Villa Nueva

<u>Tamiz</u>	<u>Fracción</u>	<u>% Pasa</u>	<u>% Retenido</u>
3/8"	9.81 mm	100.00	0.00
No. 4	4.76 mm	99.70	0.30
No. 8	2.38 mm	93.60	6.40
No. 16	1.19 mm	65.90	34.10
No. 30	0.39 mm	16.20	83.80
No. 50	0.29 mm	3.30	96.70
No. 100	0.15 mm	1.60	98.40

Módulo de Finura: 3.19

ARENA DE MIXCO
T A M I C E S



----- Límites ASTM C-330 Agr. Fino.

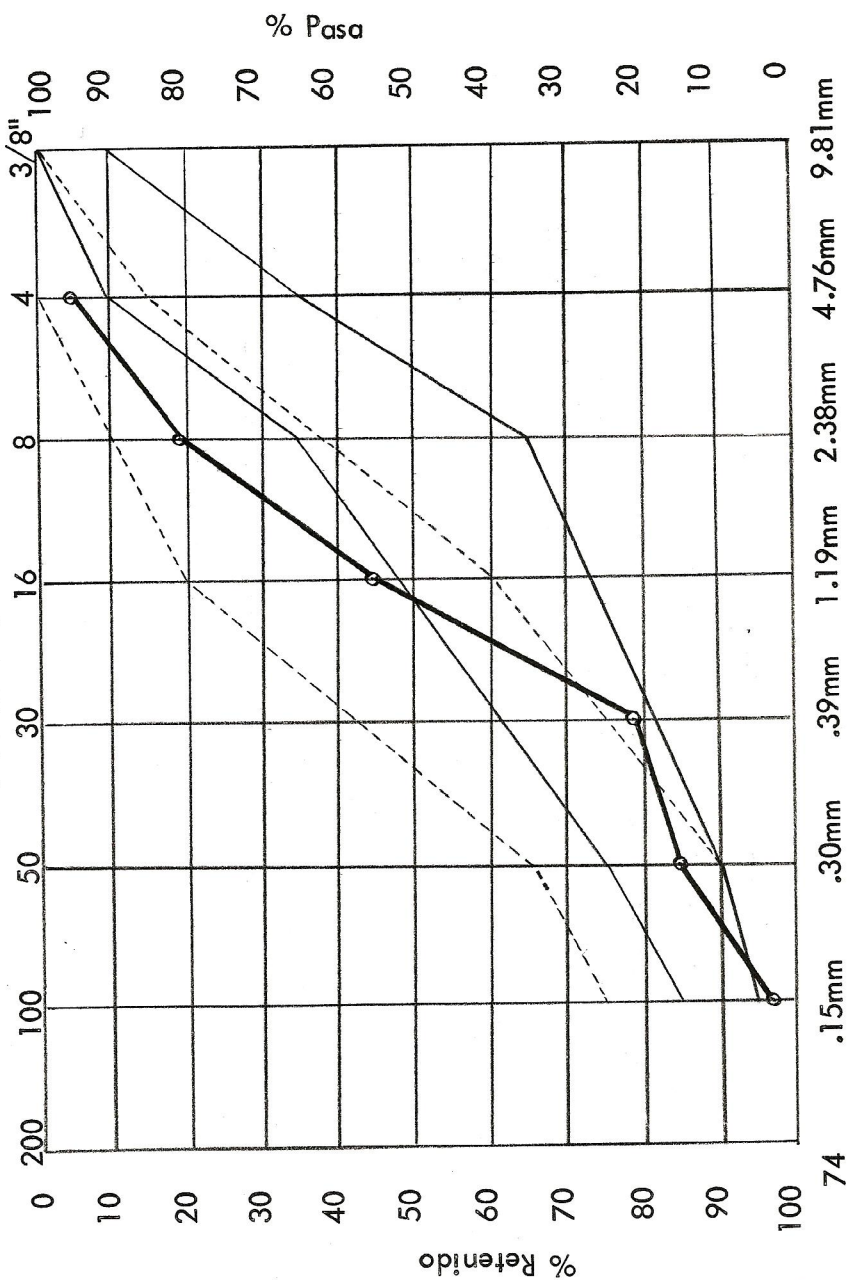
----- Límites ASTM C-330 Agr. Combinado.

—○— Agregado Pómez de Mixco.

<u>Tamiz</u>	<u>Fracción</u>	<u>% Pasa</u>	<u>% Retenido</u>
3/8"	9.81 mm	100.00	0.00
No. 4	4.76 mm	95.90	4.10
No. 8	2.38 mm	85.70	14.30
No. 16	1.19 mm	65.70	34.30
No. 30	0.39 mm	31.60	68.40
No. 50	0.29 mm	10.60	89.40
No. 100	0.15 mm	3.50	96.50

Módulo de Finura: 3.07

ARENA POMEZ CIUDAD UNIVERSITARIA
T A M I C E S



----- Límites ASTM C-330 Agr. Fino.

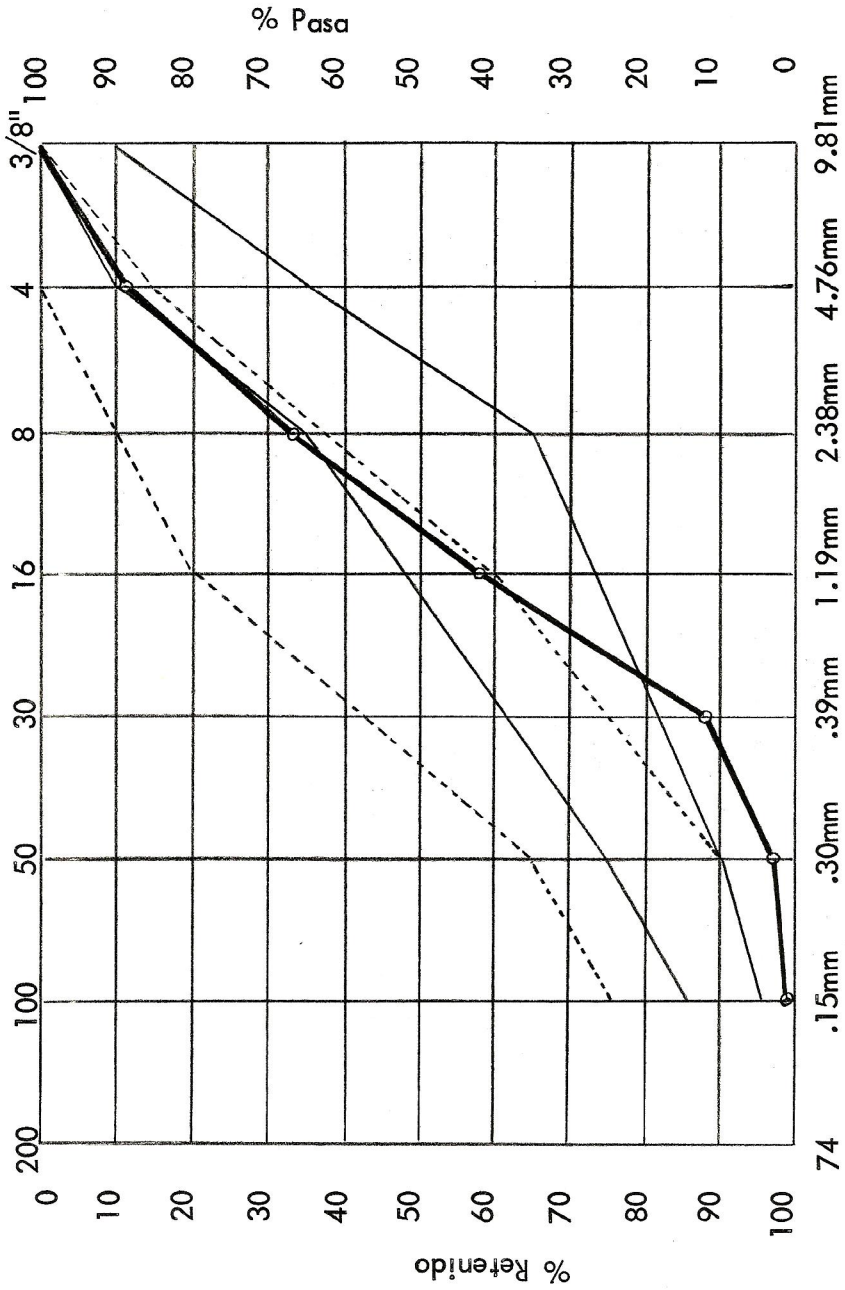
———— Límites ASTM C-330 Agr. Combinado.

—○— Arena Pómez Ciudad Universitaria.

<u>Tamiz</u>	<u>Fracción</u>	<u>% Pasa</u>	<u>% Retenido</u>
3/8"	9.81 mm	100.00	0.00
No. 4	4.76 mm	96.30	3.70
No. 8	2.38 mm	81.50	18.50
No. 16	1.19 mm	56.40	43.60
No. 30	0.39 mm	21.80	78.20
No. 50	0.29 mm	15.80	84.20
No. 100	0.15 mm	1.80	98.20

Módulo Finura: 3.26

ARENA POMEZ FRUTAL No. 1
T A M I C E S



----- Límites ASTM C-330 Agr. Fino.

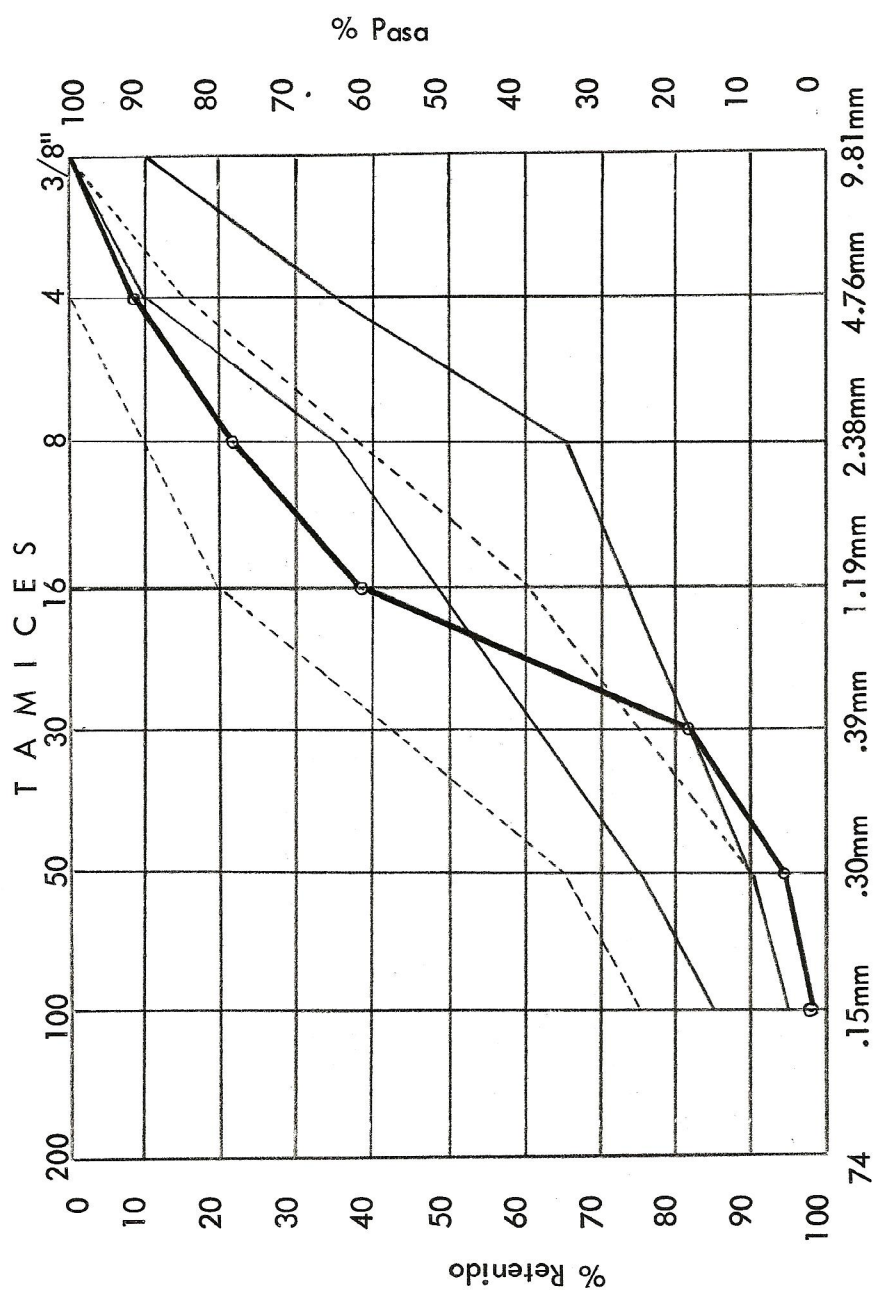
——— Límites ASTM C-330 Agr. Combinado.

—○— Arena Pómez Frutal No. 1

<u>Tamiz</u>	<u>Fracción</u>	<u>% Pasa</u>	<u>% Retenido</u>
3/8"	9.81 mm	100.00	0.00
No. 4	4.76 mm	88.70	11.30
No. 8	2.38 mm	68.10	31.90
No. 16	1.19 mm	42.20	57.80
No. 30	0.39 mm	12.10	87.90
No. 50	0.29 mm	3.30	96.70
No. 100	0.15 mm	1.90	98.10

Módulo Finura: 3.84

ARENA POMEZ FRUTAL No. 2
T A M I C E S

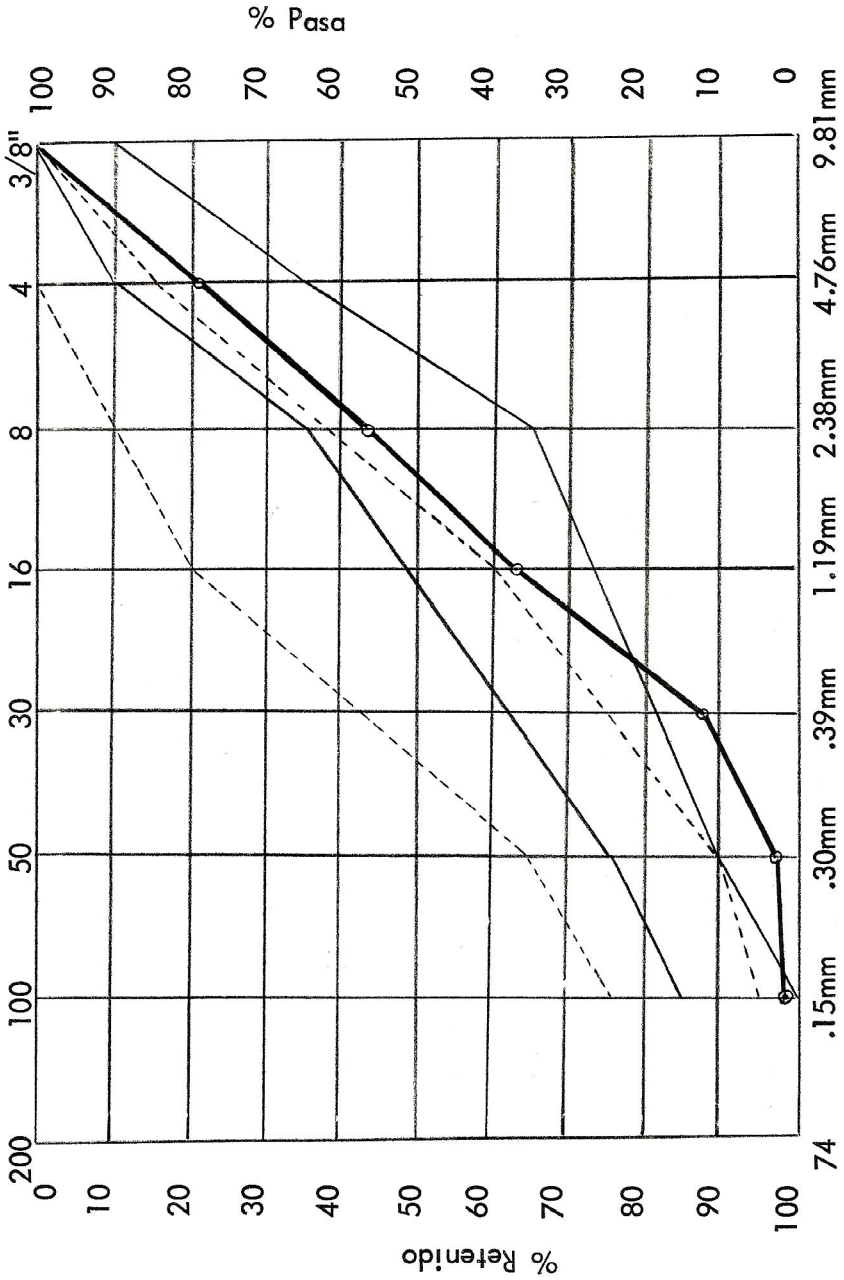


- Límites ASTM C-330 Agr. Fino.
- Límites ASTM C-330 Agr. Combinado.
- Arena Pómez Frutal No. 2

<u>Tamiz</u>	<u>Fracción</u>	<u>% Pasa</u>	<u>% Retenido</u>
3/8"	9.81 mm	100.00	0.00
No. 4	4.76 mm	95.50	7.50
No. 8	2.38 mm	77.40	22.60
No. 16	1.19 mm	52.90	47.10
No. 30	0.39 mm	18.26	81.74
No. 50	0.29 mm	4.50	95.50
No. 100	0.15 mm	2.00	98.00

Módulo Finura: 3.52

ARENA POMEZ FRUTAL No. 3
T A M I C E S



----- Límites ASTM C-330 Agr. Fino.

——— Límites ASTM C-330 Agr. Combinado.

—○— Arena Pómez Frutal No. 3

<u>Tamiz</u>	<u>Fracción</u>	<u>% Pasa</u>	<u>% Retenido</u>
3/8"	9.81 mm	100.00	0.00
No. 4	4.76 mm	78.90	21.20
No. 8	2.38 mm	57.74	42.26
No. 16	1.19 mm	36.96	63.04
No. 30	0.39 mm	14.00	86.00
No. 50	0.29 mm	4.70	95.30
No. 100	0.15 mm	2.30	97.70

Módulo Finura: 4.05

do para agregado combinado fino y grueso, de 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") a 149 micrón (No. 100).

Se observa la tendencia de los agregados a presentar una característica gruesa con módulo de finura alto; a excepción de la arena pómez de Mixco y Ciudad Universitaria, que presentan características más uniformes, los otros agregados poseen la mayor parte de partículas entre los tamices de 2.38 mm (No. 8) y 297 micrón (No. 50); esta característica como se verá más tarde influye de una manera provechosa en la trabajabilidad de la mezcla de concreto cuando se adiciona un inductor de aire.

1.2.3 Peso Específico y 1.2.4 Absorción

Definición

Si hacemos una sección a través de cualquier piedra y se amplifica su superficie, se verá que está hasta cierto grado alveolada con capilaridades y huecos de aire menudos.

El volumen real de piedra es por lo tanto, menor que el volumen aparente ya que este último incluye todos los espacios ocupados por el aire. Pueden entonces obtenerse tres diferentes valores para el Peso Específico, a saber:

1. Peso Específico Absoluto o Real
2. Peso Específico Aparente
3. Peso Específico Aparente sobre la base de saturación con superficie seca.

1. El Peso Específico Absoluto o Real es el peso de la unidad de volumen de la piedra real, sin que tal volumen incluya los huecos de aire.

2. El Peso Específico Aparente calculado sobre la base de material seco, es el peso de la unidad de volumen de una pieza de piedra seca, incluyendo los huecos de aire y capilaridades impermeables en el volumen.
3. El Peso Específico Aparente sobre la base de saturación con superficie seca, es el peso de la unidad de volumen de una piedra saturada con la superficie seca, el volumen incluye tanto la piedra como el agua absorbida, y los vacíos o huecos de aire impermeables.

El problema más difícil, es decidir cuando el agregado está saturado pero con superficie seca. En el laboratorio se utiliza un ventilador con aire caliente el cual facilita la operación cuando el agregado está húmedo y el objetivo es mover la arena para que la película de agua desaparezca del agregado.

El peso específico es un índice útil y rápido de la aptitud de un agregado, pues un valor bajo, indica que se trata de materiales porosos, débiles y absorbentes, valores altos indican compacidad, dureza, resistencia. Por lo tanto, la valorización del peso específico de los agregados es condición determinante para seleccionarlos de acuerdo con su peso, compacidad y resistencia del concreto que se quiere dosificar para un objeto determinado. El peso específico y el peso unitario son en consecuencia valores que nos indican la porosidad o compacidad de un material.

En la tabla No. 4 que se incluye, aparecen los Pesos Unitarios Aparentes, Peso Específico Promedio de las partículas y % de vacíos de las arenas pómez ensayadas comparadas con valores similares para arena de Río Villalobos.

El peso específico de agregados de peso normal es sensiblemente igual para las diferentes fracciones de los mis-

mos, esto nos indica que una granulometría hecha con por ciento en peso es una indicación verdadera de los porcentajes en volúmenes, sin embargo, el peso específico aparente de las diferentes fracciones de agregados livianos se incrementa cuando el tamaño de la partícula decrece.

Algunas partículas retenidas en tamiz No. 4 flotan en el agua, mientras que material retenido en tamiz No. 100 puede tener un peso específico similar a la arena normal.

Por lo tanto, debemos considerar que el volumen ocupado por cada fracción y no el peso del material retenido en cada tamiz es el que determina el contenido de vacíos y el contenido de cemento; además de que es este volumen el que gobierna la trabajabilidad del concreto.

A manera de información se adjunta en Tabla No. 5, los porcentajes retenidos en cada tamiz y módulo de finura, por peso y por volumen para una arena con procedencia de Villa Nueva, tomando como valor de peso específico promedio el indicado en la misma tabla.

El módulo de finura de 4.02 por volumen en el ejemplo de tabla No. 5, indica una graduación más gruesa de la que suponía el módulo de finura por peso y nos señala el requerimiento del agregado liviano de materiales finos para proveerlo de una graduación más uniforme.

TABLA No. 4

COMPARACION DE PORCENTAJE DE VACIOS ENTRE ARENAS
POMEZ ENSAYADAS Y ARENA NORMAL DE VILLALOBOS

	Peso Unitario	Peso Especifico	% Vacios
Villa Nueva	820.00 Kg/m ³	1.55	47.09
Mixco	829.30 "	1.55	46.50
Ciudad Universitaria	814.16 "	1.55	47.47
Frutal No. 1	818.00 "	1.55	47.23
Frutal No. 2	822.00 "	1.55	46.96
Frutal No. 3	816.65 "	1.55	47.31
Villalobos	1465.50 "	2.60	43.63

TABLA No. 5

COMPARACION DE MODULOS DE FINURA POR PESO Y POR VOLUMEN
PARA UN AGREGADO LIVIANO TIPICO

Tamiz	Abertura en mm	% Retenido individual	% Retenido acumulado	Peso específico	% Retenido por volumen	% Retenido acumulativo
4	4.76	4.6	4.6	1.31	5.84	5.84
8	2.38	26.2	30.8	1.35	32.27	38.11
16	1.19	30.5	61.3	1.53	33.16	71.27
30	0.59	25.2	86.5	2.11	19.86	91.13
50	0.297	8.5	95.0	2.44	5.79	96.92
100	0.149	2.4	97.4	2.70	1.48	98.40
Pasa		2.6	100.0	2.72	1.60	100.00

Módulo de finura (por peso): 3.75

Módulo de finura (por Vol.) 4.02

Absorción

La absorción mide la cantidad de agua expresada en % del peso de material seco que es capaz de absorber un material, y depende directamente de la porosidad de los materiales y de la intercomunicación de sus poros.

La determinación de la absorción en los agregados es de importancia principal, pues fija la cantidad de agua en la dosificación del concreto, ya que además del agua necesaria para hidratación de los aglomerantes hay que sumar el agua que absorberán los agregados.

La absorción en los agregados livianos, (pómez con más propiedad) es un problema muy difícil de resolver, de ahí que la Norma ASTM C-127 y ASTM C-128 que señalan el procedimiento para obtener el peso específico aparente y el % de Absorción (después de 24 horas en agua) no es aplicable para este tipo de agregado.

Como diferencia básica con el agregado normal, la pómez posee una mayor capacidad de absorción, debido más que todo a su naturaleza celular.

El contenido de humedad de un agregado liviano después de estar en contacto con el agua depende del tiempo de exposición y del contenido de humedad inicial del agregado, esto no sucede con agregados naturales a los cuales basta una presaturación normalizada de 24 horas.

Agregados livianos que poseen una humedad inicial cualquiera, absorben % de humedad mayores que agregados livianos inicialmente secos, para un mismo período de inmersión. Esto aparentemente se traduce en el hecho de que concretos hechos con agregados livianos inicialmente secos contienen menos agua total que iguales concretos he

chos con similares agregados que han sido humedecidos previamente.

Los problemas que se presentan en la determinación del % de absorción en los agregados livianos queda reducida a la presentación de la siguiente exposición: "No existe un % de absorción fijo y único que pueda ser usado para corrección de mezclas de concreto con agregado liviano que posea diferentes humedades. En unos casos (agregado liviano inicialmente seco) resultaran mezclas fluidas y en otros (agregado con pequeña humedad inicial) resultaran mezclas secas, para una misma rel. W/C neta calculada".

Es por esta razón que no puede establecerse con suficiente exactitud, relaciones W/C netas de las mezclas de concreto liviano que puedan ser utilizadas como base en el proporcionamiento de mezclas de concreto liviano.

El problema estriba en la dificultad de determinar cuál es la cantidad de agua que es absorbida por el material y cuál la neta necesaria para que se produzca una plasticidad aceptable.

Todas estas consideraciones acerca de la absorción y peso específico de los agregados livianos, nos obligan a hacer un estudio exhaustivo de estas características, con el objeto de presentar un diseño más racional del proporcionamiento de mezclas de concreto liviano.

Este estudio dió como resultado, las siguientes consideraciones:

- 1- El agregado liviano denominado pómez posee una gran absorción y al mismo tiempo una gran velocidad de absorción.

- 2- El contenido de humedad del agregado liviano pómez en una mezcla de concreto, depende del tiempo de inmersión (contacto con el agua) y de la humedad inicial que posea.
- 3- La absorción y el peso específico del agregado liviano pómez dependen del contenido de humedad, y por lo tanto de la humedad inicial del agregado y del tiempo de contacto con el agua, al hacer la mezcla.
- 4- Para una porción dada de pómez; las diferentes fracciones de tamaños, poseen humedades diferentes.

Procedimiento empleado

Se siguió el procedimiento descrito en Norma ASTM C-128-65 en lo que se refiere al proceso, la única variante fue la de usar material con diferentes humedades contenidas. A manera de información se adjunta una hoja de trabajo que describe la forma de obtener el Peso Específico aparente de las partículas para una humedad dada.

1. La muestra fue dividida en dos fracciones:
 - 1.1 Tamaño mayor de tamiz de 2.38 mm
 - 1.2 Tamaño menor de tamiz de 2.38 mm

Esta división se efectuó para obtener valores de las dos fracciones que pudieran unirse después, conforme los % en que se encontraran en la muestra.

Luego fue sumergida en agua durante 3 días, a partir de los cuales fue sacada y colocada en una bandeja, sometiéndola a la acción de un ventilador para ir la secando lentamente. Fueron obteniéndose Pesos Específicos para diferentes estados de humedad.

Los resultados aparecen en los gráficos siguientes juntamente con los valores obtenidos en los ensayos.

Ensayo de Peso Específico Aparente

1.- Material: Arena Pómez (Fracción retenida en tamiz 4.76 mm)

2.- Fecha: 4 marzo 1969.

3.- % Humedad

3.1- Peso No. 1	44.0 g
3.2- Peso No. 2	41.20g
3.3- Diferencia	2.80g
3.4- Arena húmeda	10.00g
3.5- % Humedad	38.80%

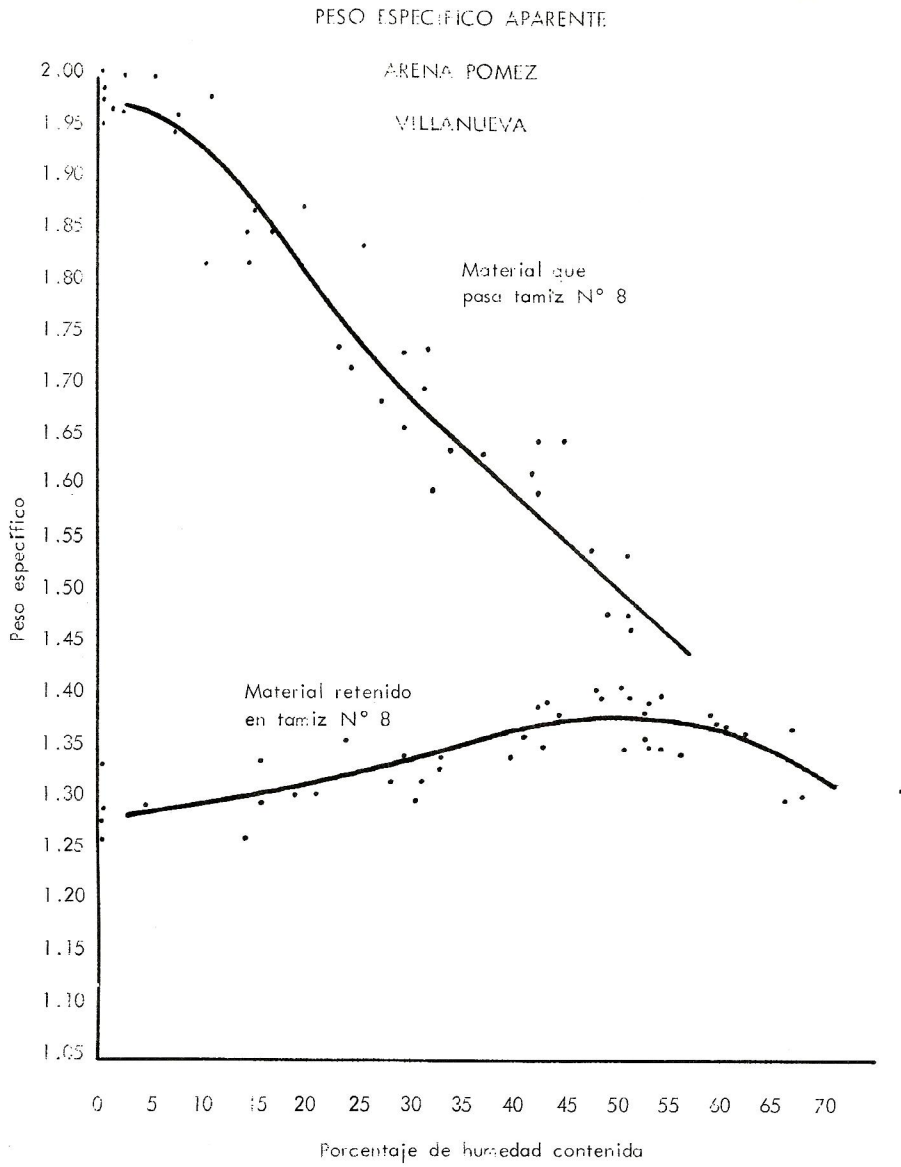
4.- Volumen agua agregada

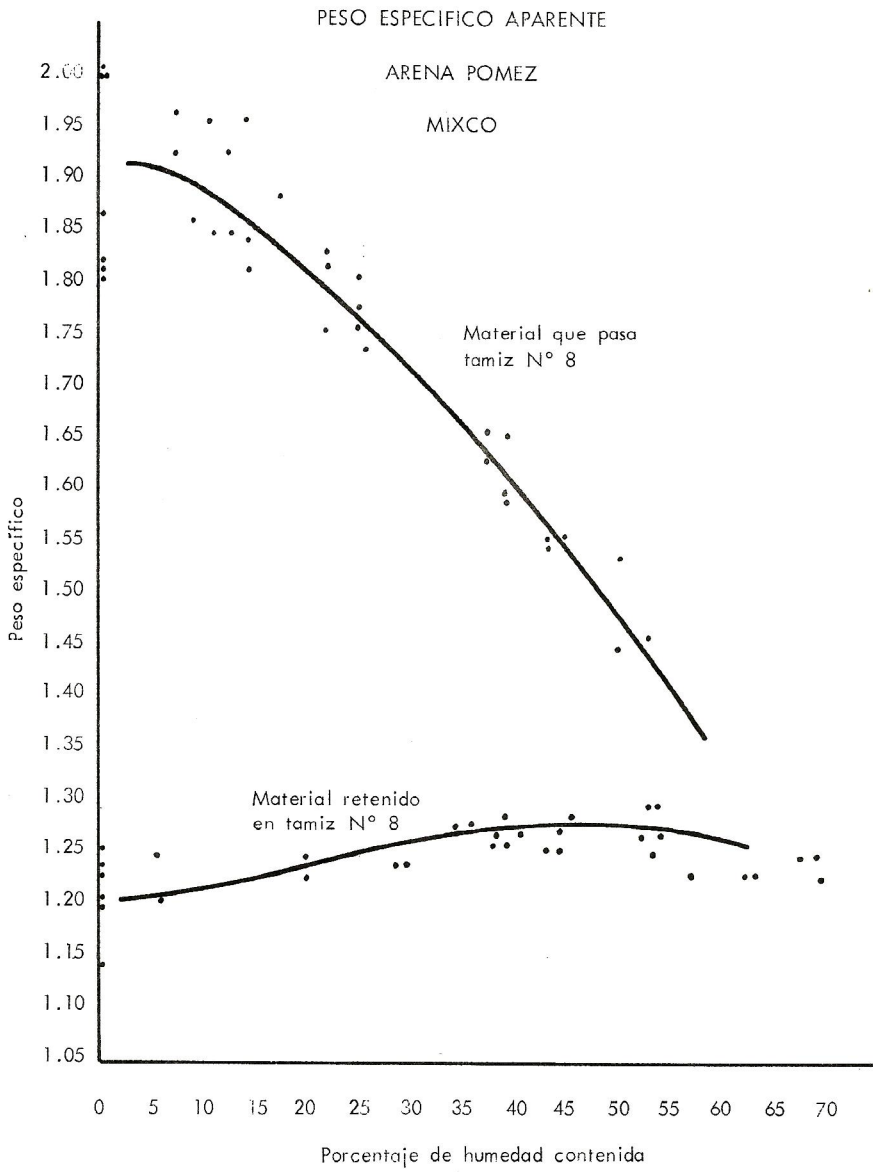
4.1- Peso de matraz + agua	921.30g
4.2- Peso matraz	498.50g
4.3- Peso agua agregada	422.80g
4.4- Corrección por temperatura	0.9980
4.5- Volumen de agua agregado	423.73 cc

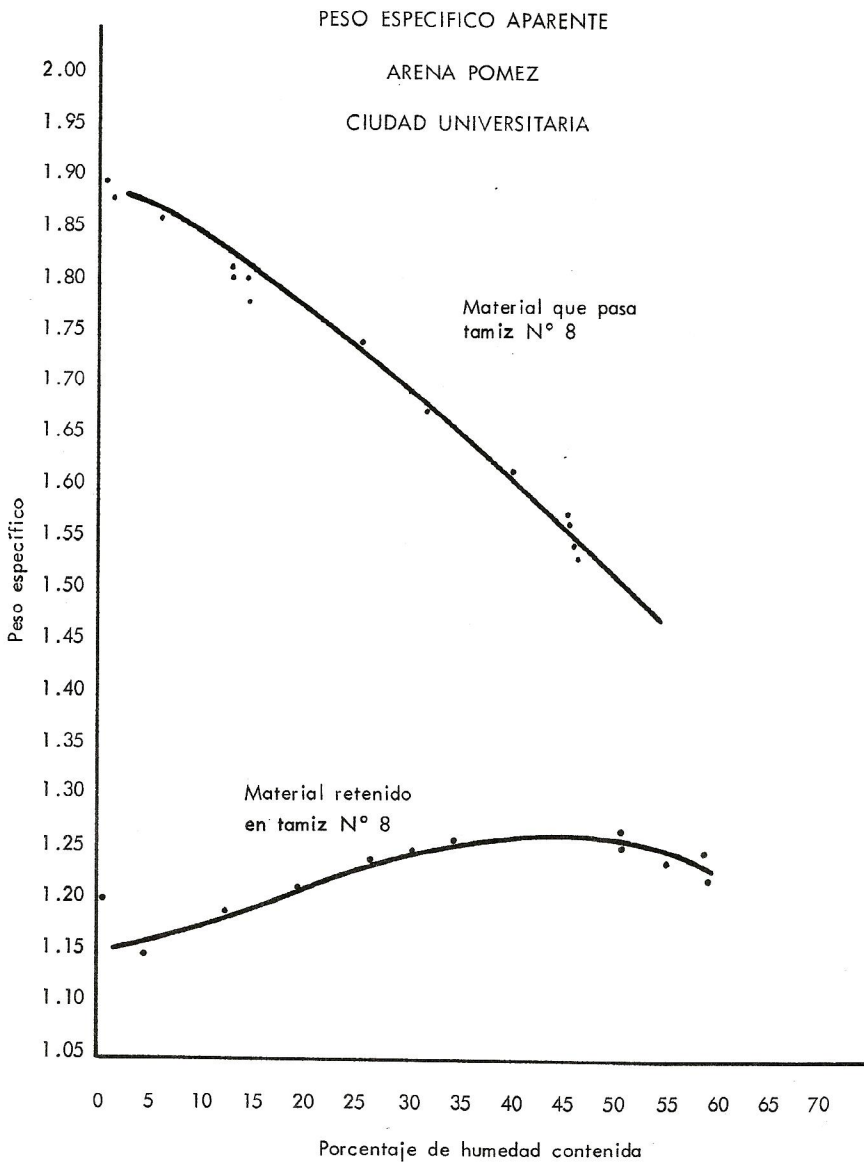
5.- Peso Específico

5.1- Peso frasco + agua + material	705.50g
5.2- Peso frasco + agua	681.10g
5.3- Peso del material	100.00
5.4- Volumen de material	76.22 cc
5.5- Volumen de agua desplazada	76.27 cc
5.6- Peso Específico aparente	1.31

Succión aplicada en punto 5.1 : 830 gramos/cm²







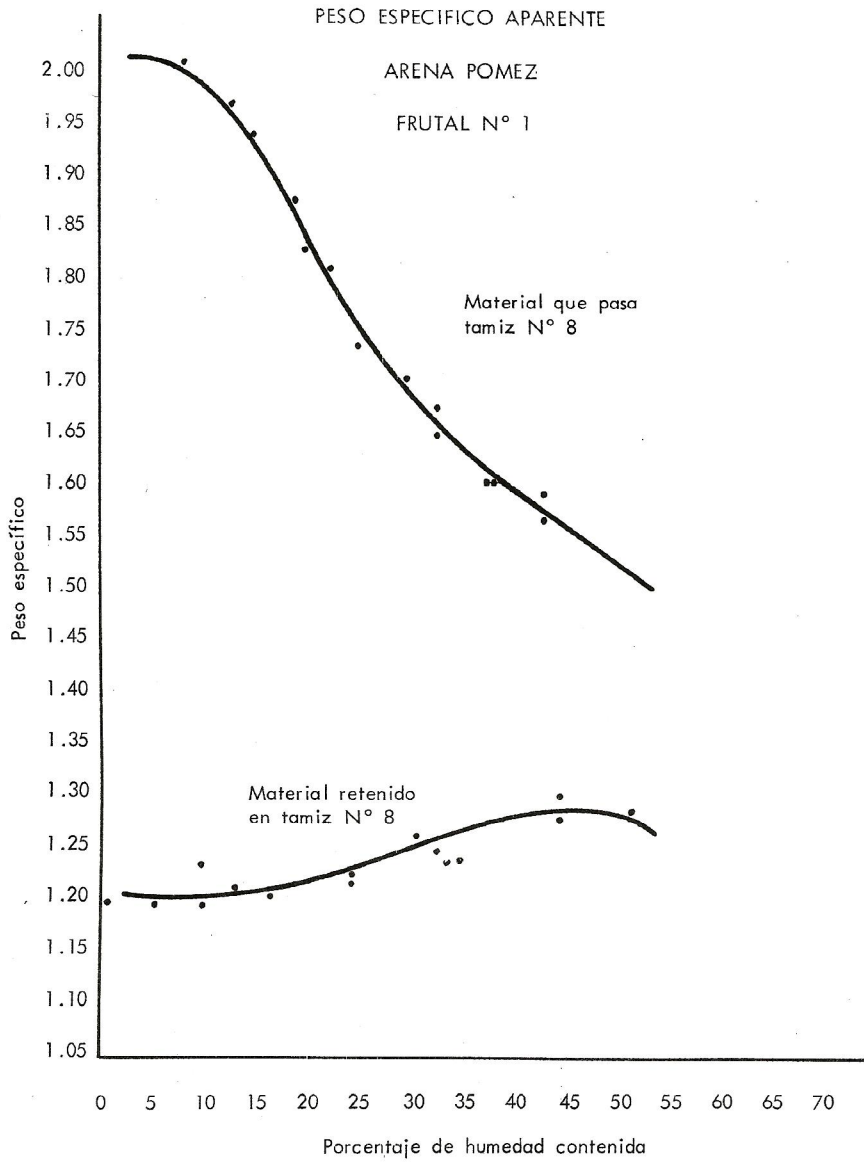
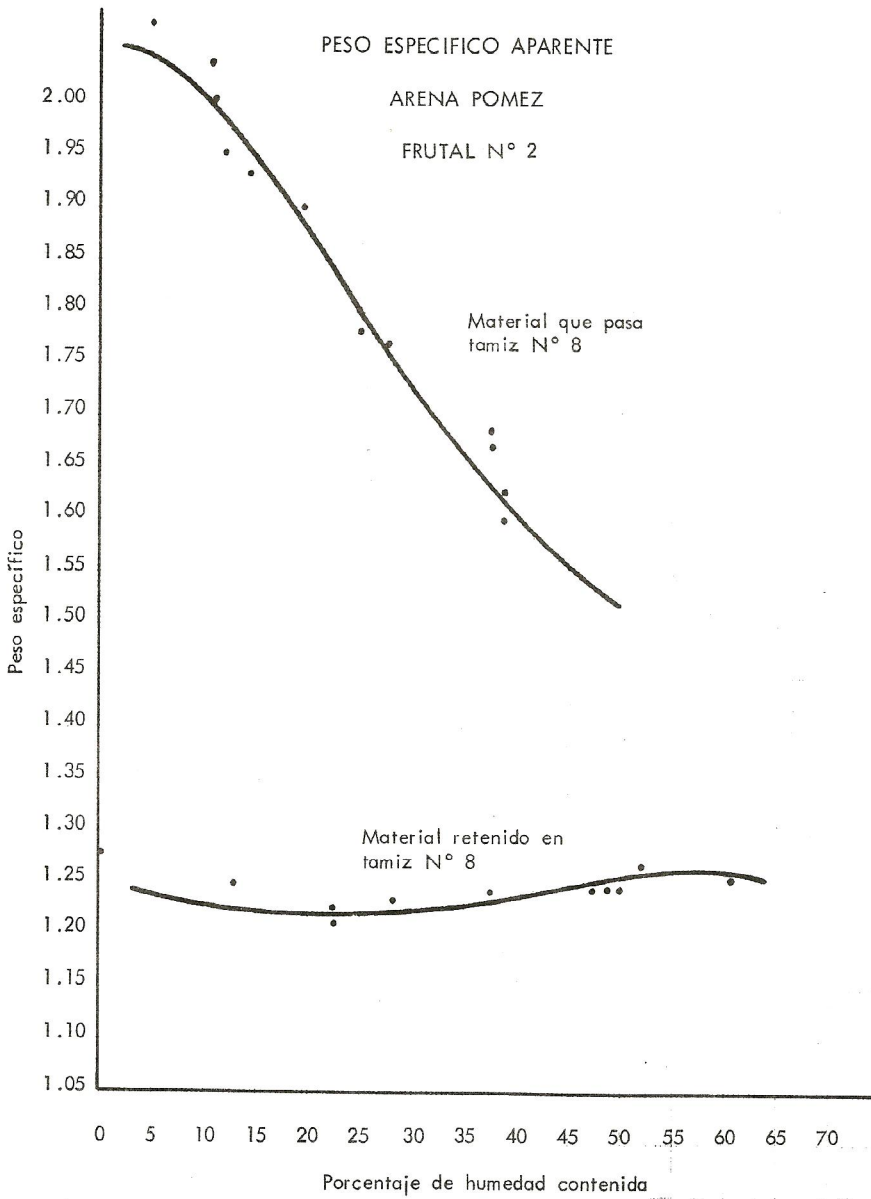
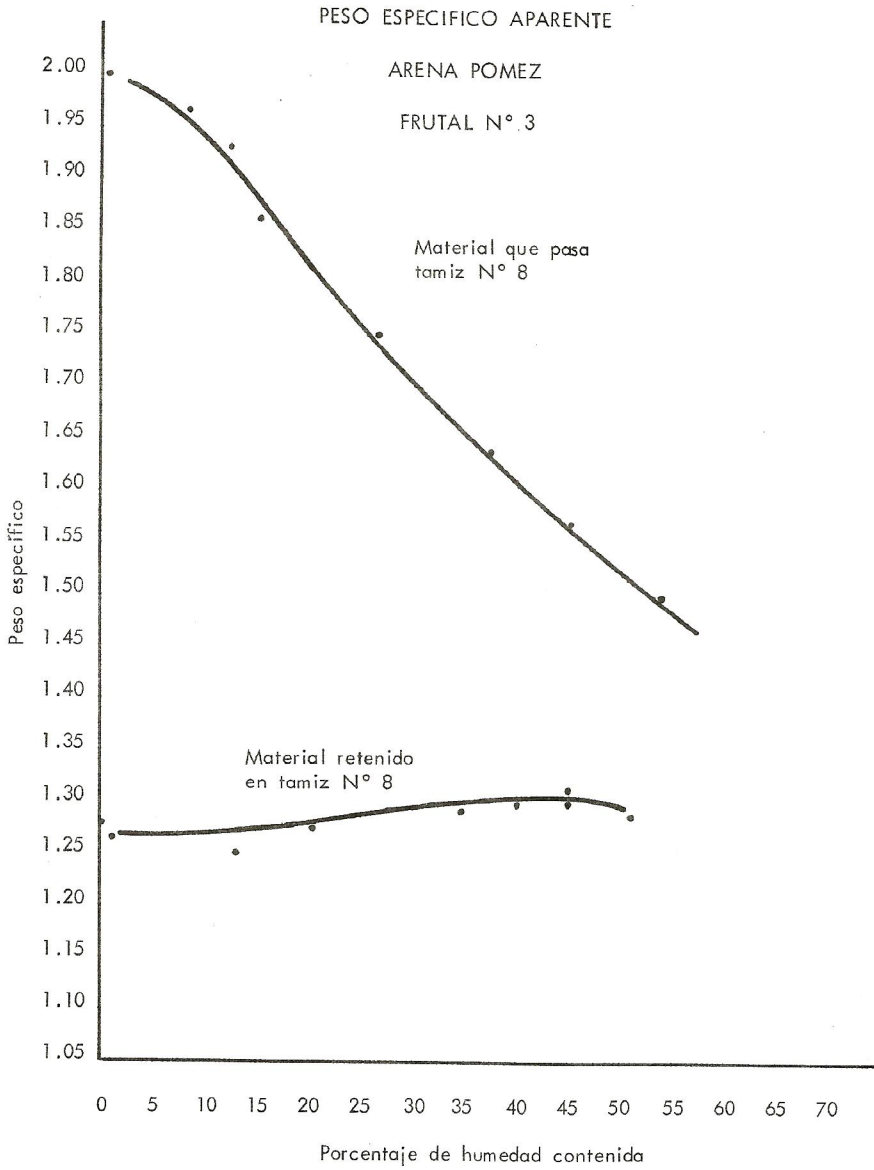


Gráfico N° 5





% Absorción

El procedimiento seguido para este ensayo, es similar al seguido para obtener valores de peso específico en cuanto a la preparación de la muestra.

El material fue introducido en la probeta y llenado con agua hasta una marca indicada, en un tiempo promedio de $1 \frac{1}{2}$ minutos a partir del contacto con el agua, con el objeto de medir la absorción con más exactitud. Para los estados de humedad próximos a 0%, este procedimiento llega a ser inexacto debido a la absorción casi instantánea que se observa en el material, razón por la cual, los gráficos fueron hechos hasta un límite de 5% humedad a partir de la cual si se logró valores más reales.

Dato obtenido por demás importante es el tiempo de succión a un vacío de: 830 g/cm^2 a que fue sometida la probeta para remover el aire que hubiere atrapado en el material y que osciló entre 30 ± 5 segundos, la succión fue retirada cuando se observó ausencia de burbujas de aire salidas del material. Se notó que esta succión representa en forma más cercana las condiciones en que trabaja el material en la mezcla. Para otros agregados es probable que el tiempo de succión pueda variar.

Discusión

Peso Específico

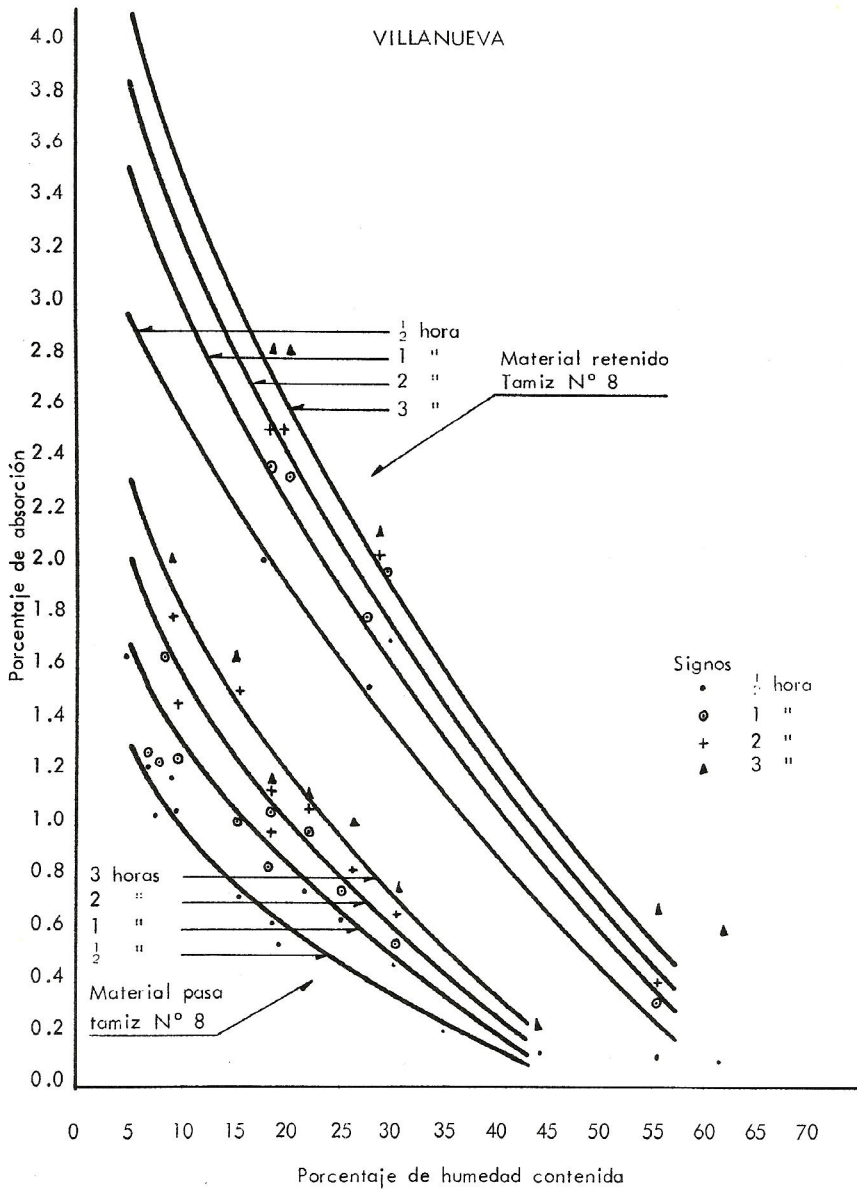
Los comportamientos de los materiales ensayados muestran una tendencia general más o menos definida: El agregado que pasa tamiz de 2.38mm tiende a disminuir en su peso específico aparente cuando el contenido de humedad aumenta y el agregado que queda retenido en tamiz de 2.38 mm permanece más o menos estable para la variación de contenido de humedad.

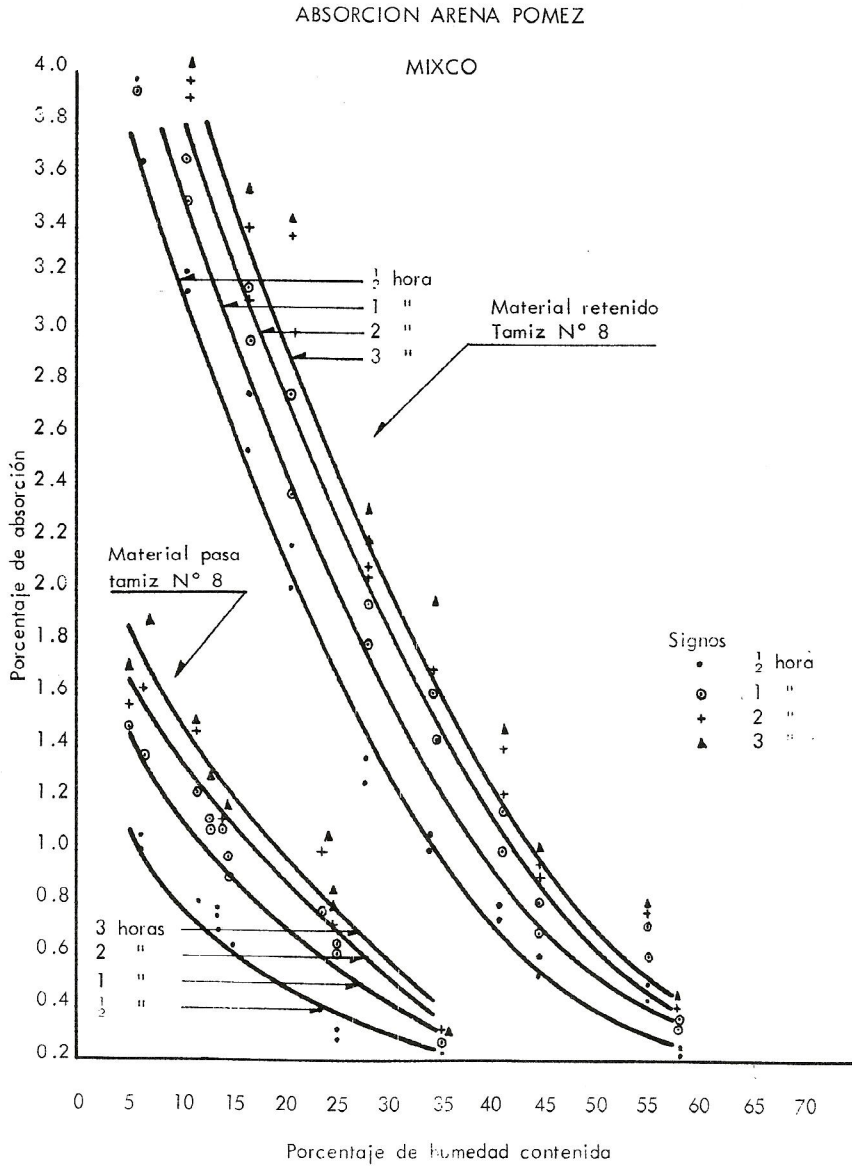
La explicación lógica de este comportamiento podría ser la siguiente:

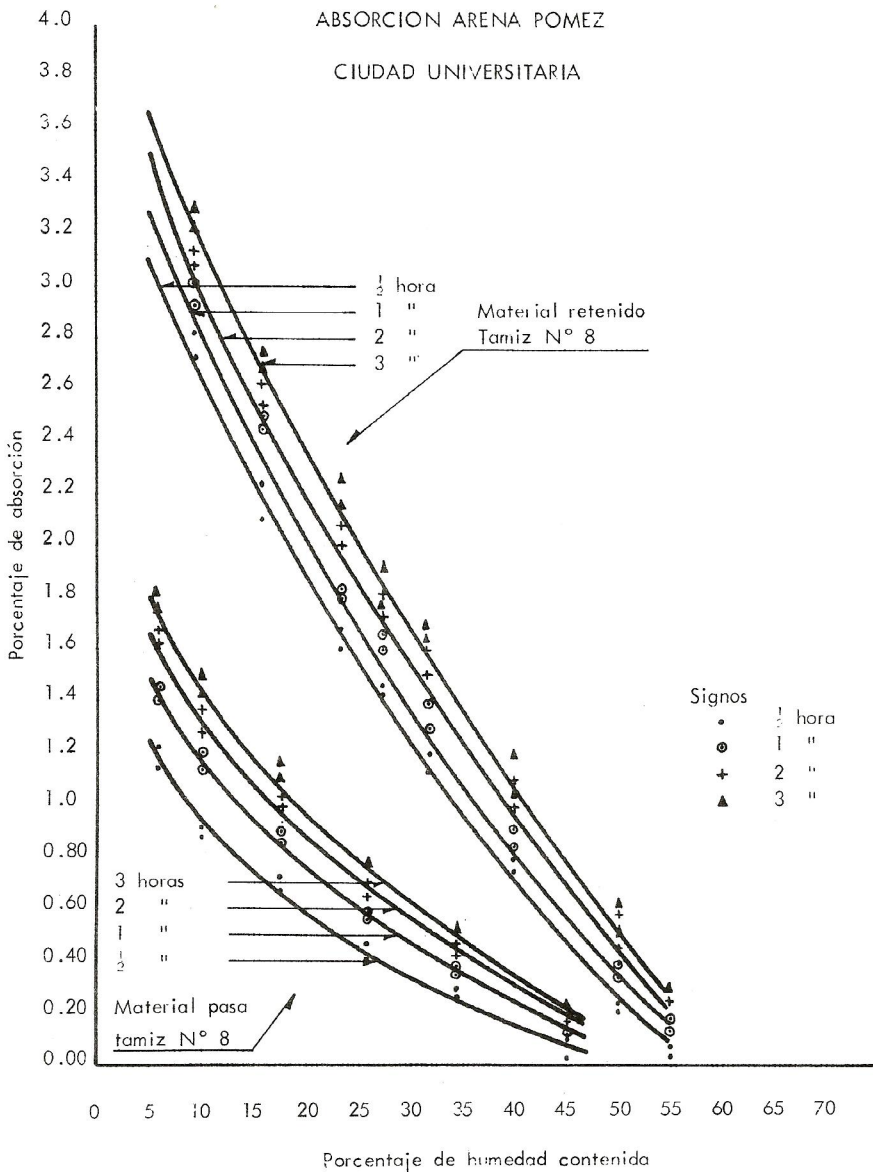
- 1- La fracción fina posee partículas de mayor peso específico y menor absorción que la fracción gruesa. En estas partículas el aumento de peso debido al agua absorbida es menor que el aumento correspondiente de volumen y por lo tanto disminuye el peso específico al aumentar la humedad, hasta alcanzar el punto de saturación. Asimismo el efecto del agua superficial "atrapada" entre partículas de arena al aumentar el contenido de agua de la masa de arena, es similar, pues equivale a adicionar partículas de menor peso con lo que disminuye el peso específico, y tiende hacia 1 mientras mayor sea la cantidad de agua.
- 2- En el agregado grueso, la partícula tiene mayor número y tamaño de vacíos internos y el aumento de peso por la absorción de agua es mayor que el correspondiente aumento de volumen, aumentando el peso específico al aumentar la humedad hasta llegar al punto de saturación, pasado el cual el agua entre partículas funciona en la forma ya indicada para el agregado fino, disminuyendo el peso específico aparente.

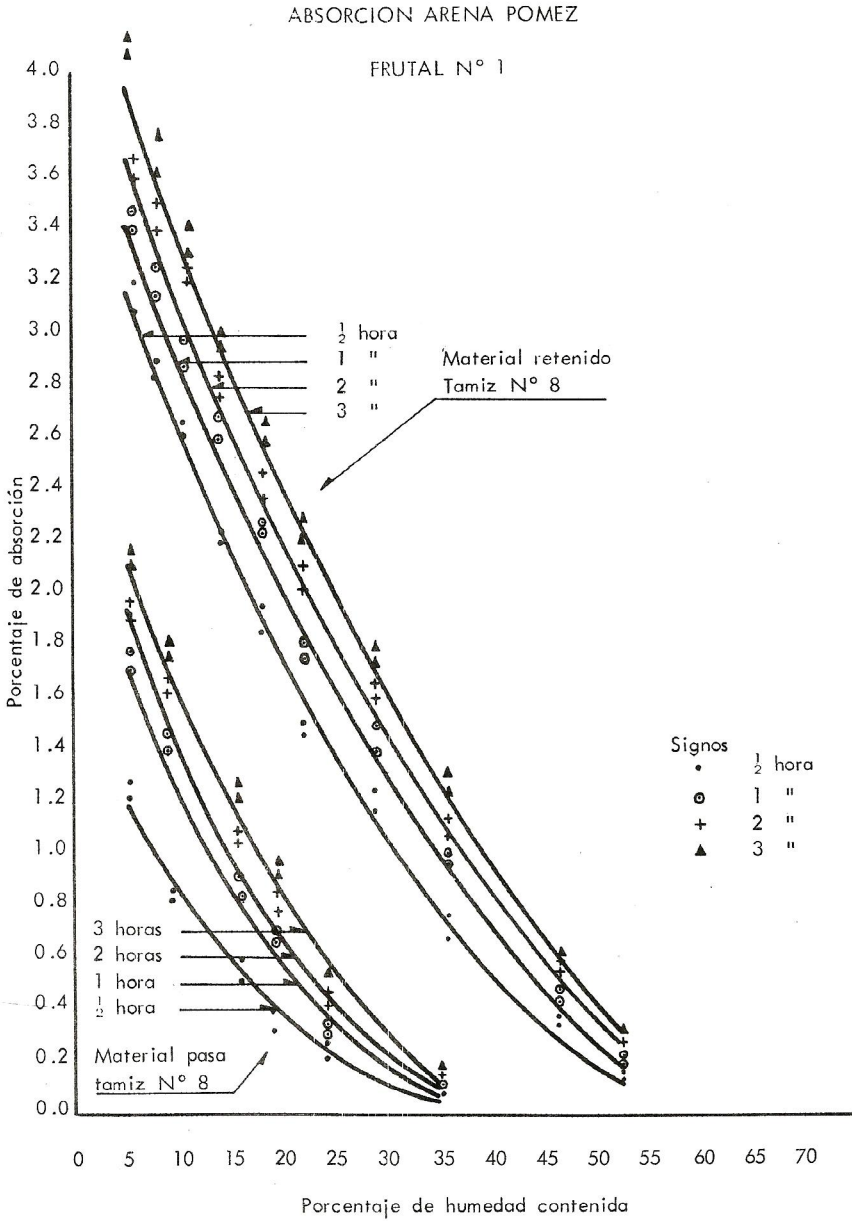
ABSORCIÓN ARENA POMEZ

VILLANUEVA



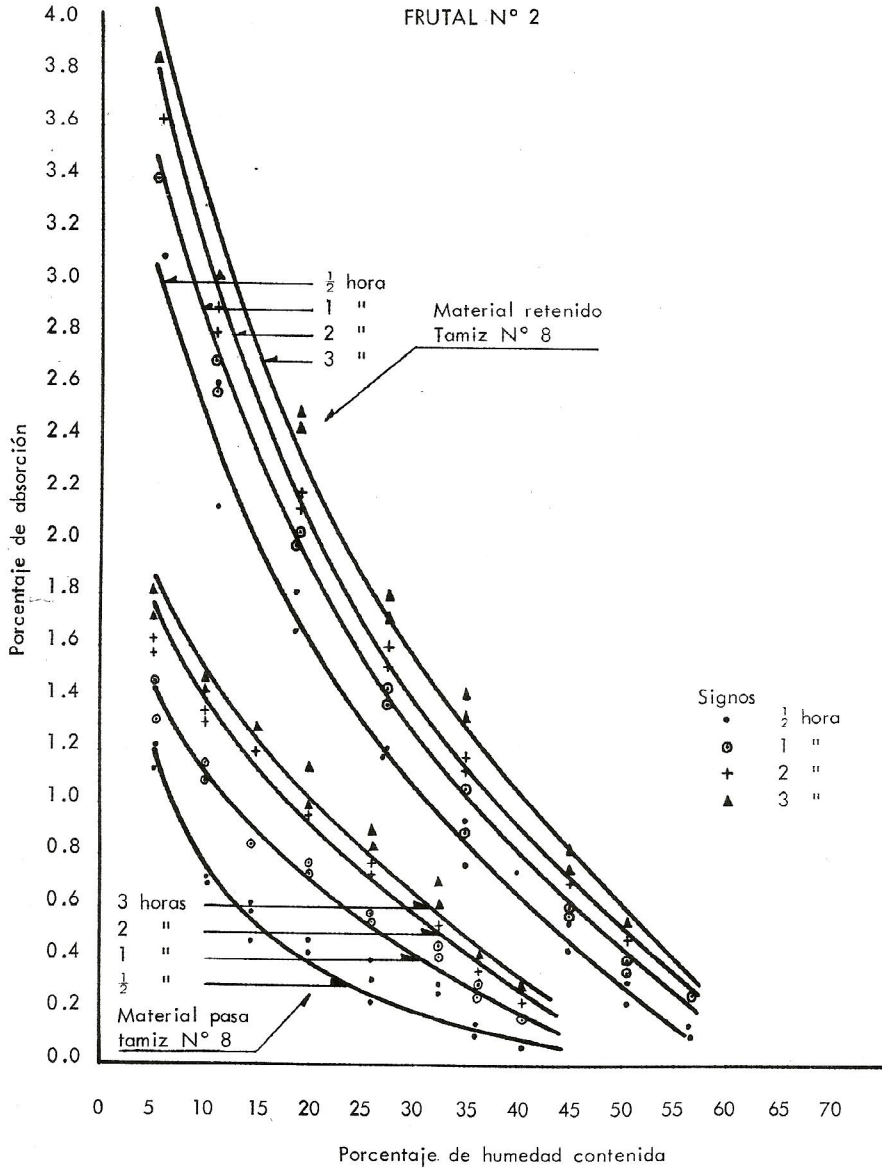


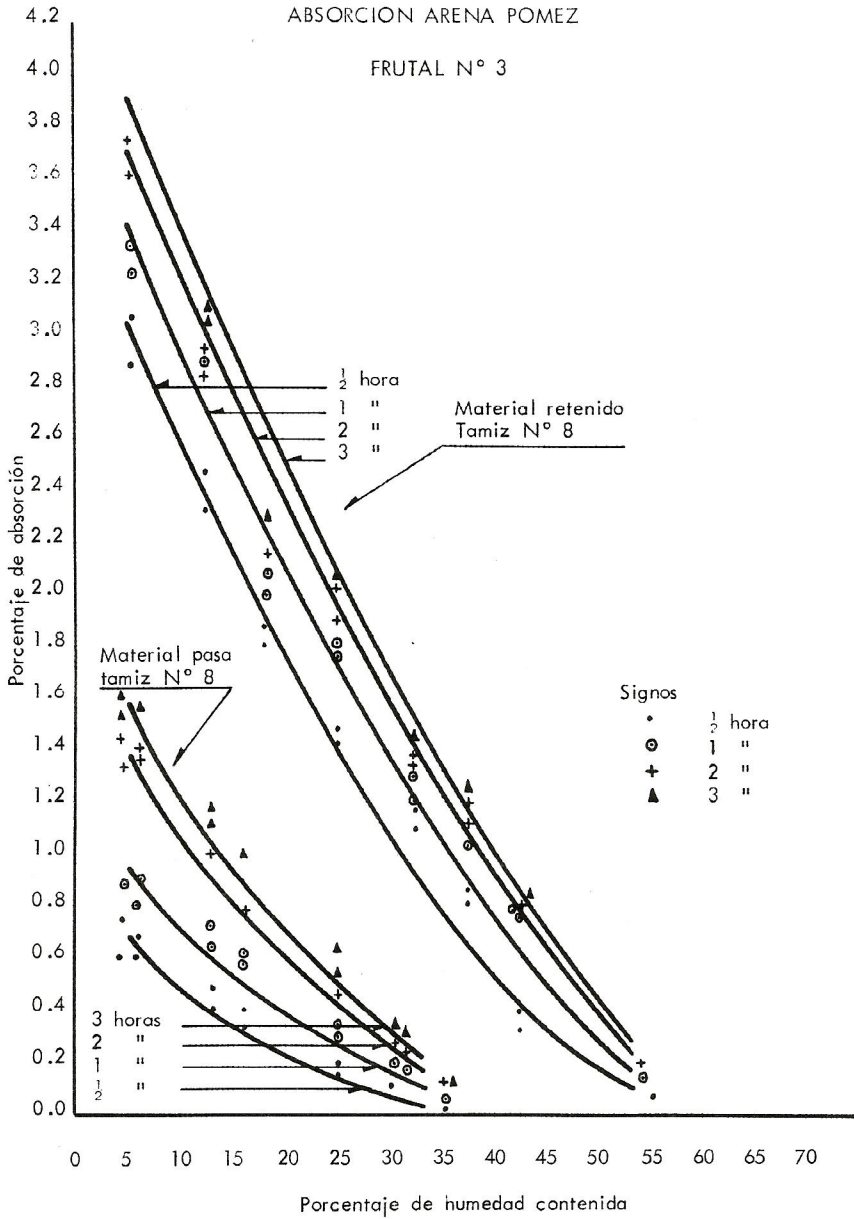




ABSORCION ARENA POMEZ

FRUTAL N° 2





% Absorción

Los resultados obtenidos señalan la habilidad de absorción de la arena pómez aún cuando posee altos contenidos iniciales de humedad.

Su capacidad de absorción decrece conforme aumenta el contenido de humedad inicial y es mayor para el agregado retenido en tamiz 2.38 mm que para el que pasa este tamiz.

De los ensayos efectuados deducimos que en el diseño racional de una mezcla de concreto liviano hecha con agregados de pómez, debe tomarse en cuenta para la obtención de volúmenes absolutos, el valor de peso específico aparente de las partículas para el estado de humedad contenida en que se encuentren. Además el agua de absorción debe ir de acuerdo con la humedad contenida del agregado.

Más adelante presentaremos el procedimiento sugerido para el diseño de mezclas de concreto liviano y actualizaremos el uso de los valores obtenidos para Peso Específico y % de Absorción.

1.2.5 Contenido de Materia Orgánica (Norma ASTM C-40-66)

La materia orgánica es perjudicial en los agregados que van a ser usados para concreto debido a que ejerce dos acciones

1. Retarda el endurecimiento del concreto.
2. Disminuye la resistencia mecánica del concreto.

La determinación aproximada del contenido de materia orgánica, está basado en la siguiente prueba de colorimetría.

Equipo

Frasco de vidrio incoloro de 250 a 350 ml con tapón de hule y graduación cada 25 ml. (Los frascos de biberones son muy adecuados).

Solución de Sosa cáustica al 3% o sea 30 gramos de NaOH en agua destilada hasta completar un litro de solución.

Tabla de color patrón según ASTM C-40.

Procedimiento

- a) Se coloca arena seca en el frasco hasta la marca de 130 ml ($4 \frac{1}{2}$ onzas).
- b) Se agrega la solución de sosa cáustica hasta que el volumen de la arena y el líquido una vez agitado, lleguen a la marca de 200 ml (7 onzas).
- c) Se tapa el frasco con el tapón de hule, se agita vigorosamente durante 2 minutos y se deja reposar durante 24 horas.
- d) Transcurrido ese tiempo, se compara por transparencia el color de líquido que se encuentra sobre la arena con el color patrón.

Si el color del líquido arriba de la arena, es más claro que el color patrón (No. 3), indica que el contenido de materia orgánica es inferior al límite fijado; por lo tanto,

la arena es aceptable. Si al contrario, el color del líquido es más oscuro que el color patrón (No. 3), y por lo tanto el contenido de materia orgánica puede ser superior al límite aceptable, la arena deberá ser estudiada más detenidamente.

En este caso, conviene lavar la arena y hacer nuevamente la prueba colorimétrica. Si con esto se obtiene un color más claro que en la primera prueba e inferior al límite, esto indicará que sí existía materia orgánica, en cuyo caso la arena podrá ser usada en la elaboración de concreto, previo lavado.

En cambio, si se obtiene nuevamente el mismo color obscuro superior al límite a pesar de sucesivos y enérgicos lavados, esto indica que posiblemente dicho color no sea motivado por la presencia de materia orgánica, sino por pequeños contenidos de carbón mineral, minerales de hierro o manganeso, los cuales no son perjudiciales para el concreto.

En todo caso conviene ensayar la arena según Norma ASTM C-87 referente al efecto de la materia orgánica sobre la resistencia.

En el caso de:

Las arenas pomez estudiadas, el ensayo de materia orgánica dio como resultado colores muy claros, lo que indica que estos materiales casi no tienen materia orgánica.

2. Propiedades del Cemento *

Definición

La ASTM da en sus especificaciones la siguiente de fi-

nición del Cemento Portland artificial: "Cemento Portland Artificial es el producto obtenido por molienda fina de clinker, producido por una calcinación hasta la temperatura de fusión incipiente, de una mezcla íntima, rigurosa y homogénea de materiales arcillosos y calcáreos, sin adición posterior a la calcinación, excepto yeso calcinado o no calcinado y en cantidad no mayor que el 3%.

Composición

Los principales constituyentes de un Cemento Portland son: la cal, sílice y alúmina; contiene pequeñas cantidades de óxido de hierro, magnesia, álcalis y bióxido de carbono.

Química del Cemento Portland

De investigaciones realizadas se ha llegado a la conclusión que en el Cemento Portland los elementos cálcico, sílice, alúmina y hierro se combinan para formar: Aluminato tricálcico, silicato tricálcico, silicato dicálcico y Ferro-aluminato tetracálcico, principalmente.

Cuando el cemento se mezcla con el agua, la acción química empieza entre los varios componentes del cemento y el agua.

En las primeras etapas, la pequeña cantidad de retardador (sulfato de calcio-yeso) entra rápidamente en solución permitiéndosele así que ejerza su influencia sobre las otras reacciones químicas que están empezando. Estas reacciones resultan en la formación de varios compuestos, las cuales producen las siguientes características:

- 1.- Aluminato tricálcico: Es un compuesto que se hidrata muy rápidamente y produce considerable cantidad de

calor, ocasiona el fraguado o rigidez inicial, pero contribuye muy poco a la resistencia última; es menos resistente al ataque químico, siendo vulnerable a la acción desintegrante de los sulfatos del agua del subsuelo; debido a sus cambios de volumen, induce el agrietamiento.

- 2.- Silicato tricálcico: Es un compuesto que gelatiniza en muy pocas horas generando grandes cantidades de calor. La cantidad formada en la reacción de fraguado tiene marcado efecto sobre la resistencia del concreto en sus primeras etapas, principalmente en los primeros 14 días.
- 3.- Silicato dicálcico: Es un compuesto que evoluciona lentamente con poca generación de calor. Es el que ocasiona el incremento progresivo de la resistencia a partir de los 14 días en adelante. Cuando la proporción formada de este compuesto es alta, se producen cementos de alta resistencia al ataque químico y el valor del encogimiento es pequeño. Producen por lo general los cementos Portland más durables.
- 4.- Ferro-Aluminato tetracálcico: Este compuesto es de poca importancia, del punto de vista de la resistencia, pero da resistencia al ataque de sulfatos y tiende a bajar el calor de hidratación del cemento Portland.

Este análisis hecho sobre la composición del cemento Portland y de la influencia de los varios compuestos en sus propiedades, indica que puede lograrse una variación muy grande en las características, cambiando las proporciones de los materiales que entran en su manufactura.

Se han desarrollado varias clases de cemento Portland de acuerdo con las características que se deseen y a mane-

ra de información se señalan algunos tipos de cementos existentes:

- a) Cemento de endurecimiento rápido.
- b) Cemento normal.
- c) Cemento de bajo calor de hidratación.
- d) Cemento de alta resistencia a los sulfatos.
- e) Cemento de bajo contenido de álcalis.

Las especificaciones de ASTM C-150-66 cubren 5 tipos de Cemento Portland como sigue:

- a) Tipo I Construcciones de concreto en general.
- b) Tipo II Construcciones expuestas a la acción moderada de sulfatos o cuando se desea un moderado calor de hidratación.
- c) Tipo III Cuando se desea alta resistencia inicial.
- d) Tipo IV Cuando se desea un bajo calor de hidratación.
- e) Tipo V Cuando las construcciones van a estar sujetas a fuerte acción de sulfatos.

Las características del cemento Portland Artificial empleado pertenecen al tipo I y al someterlo a los métodos de prueba dió como resultado, el siguiente:

Ensayo	Cemento Novella	ASTM C-150 Tipo I
1.- Peso Especifico	3.12	
2.- Fineza Blaine cm ² /gr	2979	mínimo: 2800
3.- Consistencia Normal	26%	
4.- Expansión Autoclave	0.05%	máximo: 0.70%
5.- Fraguado Gillmore		
5.1 Inicial	3 hrs.	mínimo: 1 hora
5.2 Final	5:10 "	máximo: 10 horas
6.- Fraguado Vicat		
6.1 Inicial	2:15 "	mínimo: 45 minutos
7.- Compresión kg/cm ²		
3 días	139.16	mínimo: 84.36 kg/cm ²
7 días	229.40	mínimo: 147.63 "
28 días	339.76	mínimo: 246.05 "
8.- Tensión kg/cm ²		
3 días	23.32	mínimo: 10.55 kg/cm ²
7 días	28.36	mínimo: 19.33 "
28 días	31.29	mínimo: 24.61 "

3. Agua

El agua que debe usarse para fabricar concreto debe estar libre de materia nociva tal como sedimentos, arcilla, materia orgánica y ácidos orgánicos, álcalis y otras sales.

Los cloruros que se encuentran en el agua de mar, por ejemplo, son propensos a causar corrosiones serias en el re fuerzo, si el concreto no es denso e impermeable.

En general el agua potable es segura y conveniente para la fabricación del concreto.

4. Aditivos o Admixturas

Son sustancias que se agregan al cemento para impartir alguna característica especial en el concreto, por ejemplo: Incrementar la impermeabilidad, mejorar la trabajabilidad, acelerar o retardar el fraguado, aumentar la resistencia inicial, etc. Los aditivos se agregan directamente al cemento durante su manufactura y las admixturas se agregan al concreto al hacer la mezcla.

Una descripción somera de las admixturas más comunes se enumeran enseguida:

a) Cloruro de Calcio

Una admixtura que se usa para acelerar la velocidad de desarrollo de la resistencia en climas fríos.

La cantidad máxima aceptada generalmente es de 2% en peso sobre el cemento, considerándose que cantidades mayores pueden aumentar las contracciones por secamiento.

b) Cal

La cal apagada se ha usado con la idea de mejorar la manejabilidad e impermeabilidad, aunque esta idea no es muy segura; se usa también para neutralizar la materia orgánica que puedan tener los agregados.

Otros materiales tales como la tierra de Diatomácea, bentonita, caolín y polvos de rocas pueden incrementar la trabajabilidad y cohesividad de las mezclas pero como son materiales finos consumen más agua con lo que incrementan la relación agua-cemento disminuyendo la resistencia. En realidad al aumentar estos materiales, si bien se produce buena trabajabilidad se reduce la acción adhesiva o de agarre de la pasta de cemento con los agregados lo que ocasiona pérdida de resistencia.

Las puzolanas son aquellos materiales que en presencia de la cal o el cemento, adquieren propiedades hidráulicas. Además tienen la ventaja de mejorar la durabilidad del concreto sujeto a la acción agresiva de los sulfatos. La desventaja de usar puzolanas como aditivo para el concreto reside en la disminución que se experimenta en la velocidad de endurecimiento.

c) Impermeabilizantes

Son sustancias variadas que previenen la absorción de agua dentro del concreto. Gradualmente el agua de lluvia disuelve estos materiales y reduce su efectividad.

d) Inclusores o atrapadores de aire

Los agentes atrapadores de aire facilitan la entrada de

aire en la masa de concreto, incrementando la manejabilidad del mismo sin aumentar la relación agua-cemento. Además incrementa la durabilidad del concreto particularmente referida a la resistencia al hielo, por el efecto amortiguador de los vacíos al avanzar el congelamiento del agua. Se estima que los atrapadores de aire reducen en el concreto la tendencia a la formación de grietas finas que facilitan el paso de l agua, debajo de las partículas más grandes de agregado. Por lo tanto, esta ventaja beneficia al concreto en lo que se refiere a su impermeabilidad y durabilidad.

Se ha observado que los cambios de contenido de aire atrapado en un concreto varían con la granulometría del agregado para una misma cantidad de inductor o atrapador de aire, por lo que debe usarse cuando el control de obra es muy bueno.

Los atrapadores de aire evitan también la disgregación que se observa en concretos hechos con agregados que poseen diferencias en sus pesos específicos o de graduaciones inadecuadas; con ello se estabiliza la mezcla en el proceso de fabricación, transporte y colocado.

En el presente trabajo se usó un agente inductor de aire, a base de Resina Vinsol, para mejorar la cohesión y trabajabilidad de las mezclas. La causa es que la mayoría de agregados de peso liviano, debido a su porosidad y forma angulosa, reducen grandemente la docilidad y trabajabilidad del concreto, tanto por la fuerte disgregación como por la trabazón de sus partículas. Para suprimir estos inconvenientes y para no incluir finos que mejorarían la granulometría pero que requerirían más agua y cemento, se dispuso emplear el inductor de aire, lográndose no sólo evitar la segregación en la mezcla sino una mayor dispersión del cemento y mayor adhesión entre éste y el agregado. En una

masa de concreto liviano sin inductor de aire, el cemento se "lava" de las partículas de agregado y parte se pierde con el agua que exuda al colocar la mezcla.

Con el inductor de aire en proporción adecuada se disminuye la relación agua-cemento y se incrementa la resistencia no obstante que disminuye el peso del concreto, por las razones señaladas en párrafo anterior.

Gráficamente podemos ver en la fotografía No. 1 la diferencia entre un concreto con inductor de aire y otro sin él, para una misma relación agua-cemento.

CONSIDERACIONES ACERCA DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO

En el diseño de una mezcla de concreto, esta puede definirse como la selección de los materiales más adecuados, esto es, cemento y agregados; las proporciones más económicas de cemento y agua; y los diferentes tamaños de agregados, para producir un concreto que tenga las propiedades requeridas. Las principales propiedades para las cuales se diseñan los concretos ordinarios hechos con agregados naturales que cumplen requisitos fijados por las normas existentes para agregados para concreto, son el grado de trabajabilidad y la resistencia a compresión. En casos en que la durabilidad sea un requisito especial, esta circunstancia se toma en cuenta al escoger los materiales y diseñar la mezcla.

Existen varios métodos de diseño de mezcla para concreto ordinario de grava o piedra triturada y que basados en la relación agua-cemento y una trabajabilidad determinada para una resistencia prevista tienen como fin el producir una mezcla inicial a partir de la cual se puedan hacer modificaciones para obtener la calidad deseada para el concreto.

Para el concreto liviano puede seguirse el mismo método, pero en este último influye decisivamente el grado de compactación que se alcance. Si no se compacta adecuadamente una mezcla su resistencia disminuye aunque tenga una cantidad de cemento adecuada. La falta de compactación es menos obvia en un concreto liviano bastante más trabajable y plástico que un concreto normal.

Factores que afectan el diseño de mezclas de concreto liviano

1. Graduación y forma de la partícula del agregado.
2. Absorción y peso específico del agregado.
3. % de aire atrapado.

1. Graduación y forma de la partícula del agregado

Uno de los factores de gran importancia para decidir sobre las proporciones de una mezcla que deberán usarse, es la granulometría del agregado, en particular del agregado fino. Para agregados de peso normal existe un amplio límite de granulometría adecuada; hay también diferencias en la granulometría requerida para distintos tipos de concretos livianos, como ya se indicó cuando nos referimos a la clasificación de concreto livianos (Concreto sin finos, concreto con agregados livianos y concreto aireado). La graduación de la mayor parte de los agregados finos de peso liviano es más tosca que los de peso normal, así también la gama de granulometría es menos amplia que en estos últimos.

La forma y textura de las partículas así como su granulometría, tienden a producir un concreto áspero, a pesar de que se haya seleccionado previamente las proporciones adecuadas de la mezcla.

Para mejorar la trabajabilidad de la mezcla es necesario entonces como se indicó anteriormente la adición de un agente inclusor de aire.

2. Peso Específico y Absorción

Como observamos en las propiedades de las distintas clases de arenas pómez ensayadas, las características son diferentes a las de una arena normal, por lo tanto, el diseño racional de mezclas de concreto liviano debe regirse por normas diferentes al diseño corriente y tomar en cuenta todos los factores posibles.

Sencillamente el poder absorbente de la pómez, no señala una primera dificultad que exige una atención especial para el control de agua requerida en la mezcla, esta dificultad debe solucionarse mediante técnicas particulares y continuas pruebas de laboratorio que fijen los lineamientos de dosificación para resistencias prefijadas.

Las curvas de absorción-% humedad pueden servirnos para control del agua en una mezcla cualquiera en la cual se ha fijado ya una relación agua-cemento y las curvas obtenidas de Peso Específico para una humedad dada -% de humedad pueden servir como punto de partida para el diseño de cualquier mezcla de concreto liviano.

3. % Aire atrapado

El % de aire atrapado debe considerarse como un elemento importante, ya que prácticamente ocupa la parte del volumen absoluto de la mezcla.

El aire atrapado es función del inclusor de aire, que se emplee; así en las mezclas ensayadas notamos que para una cantidad determinada de atrapador de aire, se obtiene

un % de aire atrapado dado. El inductor de aire también está en función del contenido de cemento, ya que la mayor riqueza de la mezcla, aumenta el % de partículas finas que inhiben o neutralizan la producción de glóbulos de aire; es necesario entonces incrementar el contenido de inductor de aire para mantener el % de aire deseado.

En el presente estudio, el inductor de aire fue empleado con el objeto de hacer trabajables las mezclas, disminuir la disgregación de las partículas dentro de la masa de concreto, y lograr mejor dispersión y adhesión de cemento-agregado, es conveniente añadir que el aditivo empleado, al mejorar la trabajabilidad, tiende a la disminución de la relación agua-cemento, para una trabajabilidad dada.

En general las mezclas pobres se ven favorecidas con el inductor de aire porque en ellas se incrementa en mayor proporción el contenido de aire y con ello mejoran su trabajabilidad. Esto radica en que las mezclas pobres tienen mayor cantidad de partículas que favorecen la producción de burbujas, debido a que las mismas se producen en tamaños de 1.19 mm a 0.297 mm (No. 16 a 50 USSS) tamaños que abundan más en las mezclas pobres por la misma razón de que hay menos cemento por unidad de volumen.

Es conveniente agregar que el contenido de aire, no obstante mejorar las características del concreto fresco (su manejabilidad, menor exudación, etc.) reduce la densidad del concreto, factor por demás decisivo en la resistencia del mismo; es por esta razón que se debe establecer un contenido de aire óptimo que además de influir favorablemente en las características del concreto fresco, no disminuya su aptitud para resistir carga mecánica.

En nuestro estudio se llegó a establecer que el contenido de aire atrapado debe ser de $25\% \pm 2\%$ para que las

condiciones de trabajabilidad y cohesión entre sus partículas sean las más adecuadas y obtener una densidad que sólo sea ligeramente menor que las mezclas sin inductor de aire.

Cuando se hayan establecido con certeza la forma en que actúan las características antes enumeradas habremos definido el paso inicial para el diseño racional de mezclas.

En nuestro presente estudio haremos un desarrollo completo del diseño haciendo hincapié en los resultados obtenidos experimentalmente.

Descripción General del Método

La resistencia y durabilidad del concreto está principalmente relacionada con el contenido de cemento de la mezcla para una trabajabilidad dada y con la granulometría y tipo de partículas del agregado a usarse.

Una vez determinada la resistencia y trabajabilidad requeridas, los datos de cantidad de cemento y cantidad aproximada de agua para alcanzar la trabajabilidad deseada, se asumen de datos experimentales obtenidos anteriormente o bien de la experiencia del diseñador.

El % de aire atrapado también se obtiene en base a datos experimentales o de experiencia.

Las cantidades de agua y cemento son reducidos a volúmenes absolutos que juntamente con el volumen de aire forman el sustraendo de 1 metro³ para obtener el volumen absoluto del agregado.

Para conocer el peso del contenido de Arena Pómez, es necesario conocer su peso específico aparente para su

humedad actual, y es en este punto, cuando se empleará el dato experimental que aparece en la relación Peso específico-% humedad.

Una vez encontrado el Peso Específico de las partículas para su estado de humedad actual y conocido el volumen absoluto que deben ocupar, se calcula el peso del material y con ello podremos calcular la proporción en peso de la mezcla para el estado de humedad actual, del agregado.

El paso siguiente será hacer una masada de prueba para ver si la mezcla tiene la fluidez requerida, hacer la corrección del caso y luego manteniendo fijo el asentamiento, variar la cantidad de cemento para escoger entre varias mezclas con diferente rel. W/C, la que de la resistencia deseada.

A partir de la primera masada de prueba que se realice se podrán obtener los volúmenes absolutos reales de los materiales y con ellos verificar el peso específico asumido del agregado, utilizando en correcciones sucesivas el deducido de la masada de prueba.

Exposición detallada del método de proporcionamiento de mezclas de concreto liviano:

1o. Fijar requisitos que debe reunir el concreto

1.1) Resistencia media requerida a 28 días.

Se fija la resistencia nominal a 28 días, que debe obtenerse, de acuerdo con el cálculo estructural. En la práctica hay una dispersión de valores de las pruebas, aún cuando el concreto está bien controlado, y la ACI en su "Práctica recomendada para evaluar resultados

en Pruebas de compresión" ACI 214, señala como principales causas en la variación de resistencia, las siguientes:

A) Variaciones en las Propiedades del Concreto

A.1- Cambios en la relación Agua-Cemento.

A.1.a- Poco control en el contenido de agua

A.1.b- Excesiva variación en % de Humedad del agregado.

A.2- Variación en el contenido de Agua.

A.2.a- Por Granulometría de agregados.

A.2.b- Por ser materiales no uniformes.

A.3- Variaciones en las características y proporciones de los materiales.

A.3.a- Agregados.

A.3.b- Cemento.

A.3.c- Puzzolanas.

A.3.d- Admixturas.

A.4- Variaciones en el transporte, colocado y compactado.

A.5- Variaciones en la temperatura y curado.

B) Variación en los métodos de Prueba

B.1- Procedimiento inconsistente en el muestreo.

B.2- Técnica de fabricación no uniforme

B.2.a- Cantidad de compactación.

- B.2.b- Excesivo manipuleo de la muestra.
- B.2.c- Cuidado en los cilindros recién fundidos.

B.3- Cambios en el curado

- B.3.a- Variación de temperatura.
- B.3.b- Variación de humedad.

B.4- Mal procedimiento de ensayo

- B.4.a- Nivelación de cilindros.
- B.4.b- Prueba de compresión.

En ciertos casos esta dispersión puede ser muy grande; por lo que la resistencia media tendrá que ser un poco mayor que la nominal indicada en los planos, para estar seguros de que casi todo el concreto tendrá un valor aceptable.

La ACI 214 en su fórmula No. 7 señala la relación entre la resistencia media requerida y la nominal que exigen los planos en función de un coeficiente de variación y de una constante que depende de la proporción de ensayos que pueden caer bajo $f^a c$ y del número de muestras para establecer el coeficiente de variación.

La fórmula es la siguiente:

$$f_{cr} = \frac{f^a c}{1-tv}$$

- f_{cr} = Resistencia media requerida.
- $f^a c$ = Resistencia nominal especificada en los planos.
- v = Coeficiente de variación.
- t = Constante que depende de la proporción de ensayos que puedan caer bajo $f^a c$ y del número de muestra para establecer V . Ver Tabla No 7 (Tomado de tabla 4 ACI 214).

La misma ACI 214 señala en su tabla No. 2, los coeficientes de variación que pueden ser esperados en un proyecto controlado, pero para las condiciones de nuestro estudio, utilizaremos los indicados en tabla 6, así mismo, si usamos $t = 1.282$ que es el valor correspondiente al caso de contar con más de 30 muestras y con una probabilidad de 1 en 10 de obtener valores menores que el límite especificado, obtendremos los siguientes valores para relación f_{cr} y f'_c , para los diferentes coeficientes de variación según grado de ejecución y control de laboratorio.

CONTROL EN OBRA

Condiciones de fabricación y colocación	Tipo de Supervisión	Grado de Control	Coefficiente de Variación	fcr/f ^t c
Control de Materiales, Dosis-ficación por Peso, Mezclado Colocación y Curado	Continuo	Excelente	5-7	1.07 - 1.10
Control de Materiales, Dosis-ficación por Peso, Mezclado, y Colocación	Continuo	Muy Bueno	8-11	1.11 - 1.16
	Frecuente	Bueno	12-15	1.18 - 1.24
Control Ocasional de Materiales, Proporción por Volumen, Control de Agua por Asentamiento	Frecuente o Intermitente	Regular	16-20	1.26 - 1.34
Proporcionamiento por Volumen de Materiales, Control Ocasional de Agregados	Poco o ninguno	Malo	Mayor de 20	Mayor de 1.34

CONTROL EN EL LABORATORIO

Control de Materiales, Dosis-ficación por Peso, Mezclado, Colocación y Curado	Continuo	Excelente	Menor de 5	Menor de 1.07
---	----------	-----------	------------	---------------

TABLA No.7

VALORES DE t^*

No. de muestras menos 1 (n-1) +	% DE PRUEBAS DENTRO DEL LIMITE $X \pm t$									
	50	60	70	80	90	95	98	99		
	PROBABILIDAD DE PRUEBAS BAJO EL LIMITE INFERIOR									
	2.5 en 10	2 en 10	1.5 en 10	1 en 10	1 en 20	1 en 40	1 en 100	1 en 200		
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657		
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925		
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841		
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604		
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032		
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707		
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499		
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355		
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250		
10	0.700	0.879	1.093	1.373	1.812	2.228	2.764	3.169		
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947		
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845		
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787		
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750		
	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576		

* Valores de " t^* ", tomados de Tabla producida originalmente por Fisher y Yates, "Statistical Tables for Biological, Agriculture and Medical Research".

+ Grado de libertad.

OTROS VALORES DE t PARA $n-1 = \infty$

% dentro de $\bar{X} \pm t$	Probabilidades de pruebas bajo límite inferior
40	3 en 10
68.27	1 en 6.3
95.45	1 en 44
99.73	1 en 741

Los valores de " t " incrementan para muestras pequeñas debido a la incertidumbre del establecimiento de una estimación verdadera de σ partiendo de muestras pequeñas. La ventaja de establecer γ en la ecuación No. 7, de un número grande de muestras es obvio en la reducción de los valores de " t " y fcr.

1.2 Trabajabilidad o docilidad deseada

La docilidad del concreto liviano será tratada en capítulos posteriores y por lo tanto en el presente caso, sólo indicaremos el método más común entre nosotros para medirla: El método de revenimiento o asentamiento por medio del cono de Abrahms.

Aunque la docilidad medida por este método puede iniciarse desde cero centímetros, en el caso de mezclas de concreto liviano que incluyen un inclusor de aire, se inicia el límite para asentamientos desde un valor más alto, que es el correspondiente al inicio de la acción efectiva del inclusor o atrapador y generalmente de 3-4 cm. Una guía como la que aparece en la siguiente tabla nos puede facilitar el asentamiento más recomendado para diferentes tipos de concreto.

Asentamientos recomendados

Tipo de Concreto	Asentamiento	Consistencia
Concreto mezclado a máquina y colocado con vibrador (de formaleta).	4 - 8 cm	Seca-plástica
Concreto mezclado a máquina y colocado por apisonado manual.	8 - 12 cm	Plástica
Concreto mezclado a máquina para secciones angostas y profundas.	12 - 16 cm	Plástica-fluida

La causa de emplear concretos que se inicien en 4 cm de asentamiento radica en que el aditivo inclusor de aire principia a ejercer acción cuando las mezclas son inicialmente húmedas.

1.3 Consistencia y Cantidad de Agua

La cantidad de agua va en relación directa a la docilidad que se desee, así para concretos seco-plásticos se emplea menor cantidad de agua que para concretos plástico-flúidos.

En concretos livianos debe tomarse en cuenta el % de aire atrapado porque este influye también en la docilidad de las mezclas; de tal manera que una mezcla con un alto % de aire atrapado requiere menos agua total que una mezcla con bajo % de aire atrapado, para una misma docilidad.

Cuando se ha determinado el % de aire adecuado, entonces se estima la cantidad de agua óptima para la docilidad requerida, la tabla siguiente puede servirnos de guía para estimar este renglón:

Tabla No. 8

CANTIDAD ESTIMADA DE AGUA EN LITROS/m³

Resistencia en kg/cm ²	ASENTAMIENTO EN cms.			Cantidad de admixtura
	4 - 8	8 - 12	12 - 16	
50	215	221	236	78.00 cm ³ /saco
75	214	220	235	"
100	204	210	225	cm ³ /saco 80.00
125	198	204	219	cm ³ /saco 85.00
150	195	200	215	cm ³ /saco 88.71
175	195	200	215	cm ³ /saco 90.00
200	195	200	215	cm ³ /saco 92.00

Es conveniente aclarar que las cantidades de agua tabuladas corresponden a mezclas con % de aire atrapado de $25 \pm 2\%$ y que para mayores o menores % de aire, será necesario hacer mezclas adicionales de prueba.

1.4 % Aire

Influye en los requisitos especiales tales como durabilidad, impermeabilidad, liviandad, etc.; si el concreto se desea para muros sin carga por ejemplo, donde se desea más que todo un material impermeable y aislante térmico, el % de aire puede ser incrementado.

El % de aire puede ser gobernado por las características de los agregados en lo que se refiere a la granulometría, pero puede en concreto liviano disminuirse o aumentarse con la adición del inclusor de aire. Generalmente una mezcla de concreto liviano sin aditivo puede tener hasta 10-15% de aire y al agregar el inclusor de aire lograrse contenido de aire hasta de 35%, normalmente para el concreto liviano realizado en nuestros estudios, el % de aire osciló entre 20-30%.

Sin embargo, se debe agregar que la cantidad de admixtura es variable según se trate de mezclas ricas o pobres; y por lo tanto, debe tenerse especial cuidado en la adición de la admixtura empleada.

Para objeto del primer diseño, puede usarse las cantidades que aparecen en la tabla No. 8, con la salvedad de que son para la admixtura empleada en el presente estudio.

2o. Obtener los datos de los materiales a usar

2.1- Cemento: Tipo, calidad, peso específico y peso unitario volumétrico.

2.2- Agregado liviano:

2.2.1- Curvas de Peso Específico de Partículas-
% de Humedad.

2.2.2- Curvas de % de Absorción - % de Hume-
dad - tiempo.

2.2.3- Peso Unitario Volumétrico.

2.2.4- Granulometría, Módulo de Finura (P o r
peso y por volumen).

2.2.5- Tamaño Máximo, forma, textura, compo-
sición mineralógica.

3o. Obtener datos para diseño de la mezcla

* 3.1- Cantidad de cemento por metro cúbico

Hasta ahora hemos recopilado datos a base de cuadros experimentales que servirán en adelante de punto de partida para los demás datos.* El cemento por metro cúbico se obtiene conociendo la cantidad de ce-
mento que produce una resistencia determinada, para diferentes valores de consistencia, estos datos se deducen de la experimentación previa y para la dosificación inicial puede usarse la tabla No. 9

Tabla No. 9

CANTIDAD DE CEMENTO POR METRO CUBICO PARA
UNA RESISTENCIA DETERMINADA

Resistencia en kg/cm ²	Asentamiento en cm		
	4 - 8	8 - 12	12 - 16
50	5.50	6.00	6.50
75	6.00	6.50	7.00
100	6.50	7.00	7.50
125	7.00	7.50	8.00
150	7.50	8.00	8.50
175	8.00	8.50	9.00
200	8.50	9.00	9.50

Nota: Las cantidades de cemento están en Sacos/metro³

3.2 Proporción de Agregados

En vista de que el agregado es solamente la arena pómez, es recomendable que se practique una graduación entre tamiz No. 8, para establecer que % queda retenido y que % pasa; además es conveniente saber el % de humedad que poseen las fracciones en el instante del diseño para poder emplear los gráficos correspondientes.

3.3 % de Aire

Puede obtenerse según la cantidad de atrapador que se

emplee y de acuerdo a la graduación del agregado re presentado por su módulo de finura. Para arenas pómez del valle de Guatemala, el módulo de finura es casi constante y por lo tanto, influye poco en las variaciones del % de aire atrapado.

4o. Cálculo de cantidades de materiales por metro cúbico de concreto

Cuando el concreto se encuentra en estado plástico, se contrae en las formaleas reduciendo su volumen a un valor dado. Esta reducción de volumen resulta por asentamiento de los sólidos y la exudación del agua libre en la superficie, además puede suceder por drenaje en la formalea y por evaporación. El asentamiento de las partículas y la exudación usualmente ocurre dentro de la hora después de colocado el concreto. Durante este mismo período parte del agua es absorbida por los granos del cemento, que da como resultado la reducción de volumen.

Por lo tanto, la suma de volúmenes absolutos reales de los materiales deberá tener un % adicional de 1% con el fin de obtener el metro cúbico de concreto endurecido. Los materiales se proporcionarán sobre 1.00 m^3 y después para hacer la mezcla, deberá calcularse para 1.01 metro^3 de concreto fresco.

Procedimiento

- 4.1 Cálculo de volúmenes absolutos de agua y cemento, dividiendo sus pesos en kilogramos entre su peso específico multiplicado por 1000.
- 4.2 Restar de 1.000 m^3 los volúmenes absolutos de agua, cemento, y aire atrapado, para obtener el volumen absoluto de arena.

- 4.3 En base a los contenidos de humedad de las fracciones (que retiene y pasa el tamiz No. 8), se calculan los pesos específicos aparentes que multiplicados por los % en que se encuentran las fracciones, nos dará el peso específico aparente promedio de la masa de arena en la condición de humedad en que se encuentra.
- 4.4 Calcular el peso de la arena pómez multiplicando su volumen absoluto en m^3/m^3 de concreto por el peso específico aparente encontrado por 1 000.
- 4.5 Sumar los pesos y los volúmenes. El peso unitario aproximado del concreto será igual a la suma de pesos.
- 4.6 Referir el peso de la arena pómez al del cemento y obtener la proporción en peso. Referir el agua de mezcla a litros por saco y el cemento a sacos por metro³.

En esta forma se completa la fase de dosificación inicial de la mezcla.

5o. Masadas de Prueba

Tomando en cuenta la proporción, el contenido de agua de mezcla y los gráficos % de Absorción - % de Humedad, se procede a realizar la masada de prueba. En el laboratorio normalmente se efectúan con 10 o 20 kilogramos de cemento, pero en obra es recomendable utilizar 1 saco de cemento. Si se usa concretera, ésta deberá limpiarse antes del amasado y siempre es conveniente amasar un poco de concreto de la misma dosificación que se usará, que luego se tira y que tiene por objeto impregnar las paredes de la máquina y evitar así que parte del mortero de la masada de prueba se quede adherida en la concretera.

Con la masada de prueba se ve si la mezcla tiene las características deseadas, tales como: % de Aire, Peso Unitario, Asentamiento requerido, Cemento mínimo, etc.

Cuando hay necesidad de aumentar el agua, debe aumentarse también el cemento, para conservar el contenido de cemento estipulado, a menos que los resultados de ensayos de resistencia indiquen que no hay necesidad. Con el objeto de avanzar en el estudio de las características de la mezcla deseada y después de hacer las correcciones pertinentes, se recomienda hacer por lo menos 3 mezclas adicionales.

Una con la cantidad de cemento calculada y las otras, una con un contenido de cemento mayor y otra con un contenido de cemento menor. Por interpolación podrá hallarse la cantidad definitiva de cemento que hace falta para alcanzar la resistencia requerida.

Para cada una de las masadas de prueba debe comprobarse la proporción real de materiales, sus volúmenes y su rendimiento.

60. Comprobación de las resistencias obtenidas en obra

Siempre será necesario realizar la comprobación de que la resistencia —como índice de las otras características— sea mayor que la nominal especificada en los planos.

Es necesario hacer masadas y tomar cierto número de probetas por cada una; las cuales se curan en ambiente normal de humedad y se rompen a 28 días. En el laboratorio se calculará su resistencia y su % de variación. De esta manera se sabe si en las condiciones de la obra y con los procedimientos usuales, se obtiene repetidamente una resistencia media mayor, menor o igual a la especificada,

dentro de los límites prefijados y poder hacer los ajustes necesarios.

Ejemplo típico de Cálculo de proporcionamiento de Mezcla de Concreto Liviano

1o. Fijar requisitos que debe reunir el concreto

1.1- Resistencia Nominal Especificada

Resistencia nominal indicada en planos estructurales: $f^{\prime}c$: 140 kg/cm²

1.2- Resistencia Media requerida

Con base en la forma de operar y grado de control de la fundición se escoge de la tabla la

relación $\frac{f_{cr}}{f^{\prime}c}$, en este caso supondremos un control

bueno y tomaremos $\frac{f_{cr}}{f^{\prime}c} = 1.10$; $f_{cr} = 1.10 \times$

$$f^{\prime}c = 1.10 \times 140 = 154 \text{ kg/cm}^2.$$

1.3- Trabajabilidad de la mezcla:

El asentamiento como medida de la consistencia de la mezcla, será la que se tendrá en obra, con colocación manual (apisonado) del concreto, de modo que nuestro asentamiento será de 8-12 cm para obtener una consistencia plástica, adecuada para las condiciones de manipuleo en obra.

1.4- Requisitos especiales

% de Aire: Se desea un contenido de aire de

25%, por lo tanto, de tabla se obtiene cantidad de admixtura: 88.71 cm³/saco.

Es necesario hacer notar que según sea la admixtura que se emplee, así será el % de aire atrapado, por lo tanto deberán consultarse los manuales de cada producto o efectuar ensayos para inclusive de aire específicos.

2o. Datos de los materiales a usar

Material	Procedencia	Peso específico	P.U. kg/m ³	% Abs.	Mod. Finura
Cemento	Novella	3.12	1506	---	
Arena	Villa Nueva	Nota 1	820	Nota 2	3.02
Admixtura	Laboratorio	1.08	---	---	---

Nota 1: El peso específico aparente de la arena pómez debe ser obtenido del gráfico correspondiente, para la humedad contenida que tenga.

Nota 2: El % de absorción de la arena pómez debe ser obtenido del gráfico correspondiente, para la humedad contenida que tenga.

En consecuencia, debe seguirse el siguiente procedimiento para obtener el peso específico y el % de Absorción del material.

- 1.- Calcular el % de material que pasa y retiene el tamiz de 2.38 mm (No. 8 USSS) y separar las fracciones para una muestra representativa (5 kilogramos).
- 2.- Obtener el % de humedad contenida para las dos fracciones.
- 3.- Con los % de humedad y valiéndose de los gráficos correspondientes encontrar el peso específico de las partículas y el % de absorción.

Ejemplo para encontrar Peso Específico y % de Absorción

- 1.- Procedencia: Villa Nueva

$$2.- \text{ Pasa tamiz 2.38 mm (No. 8): } \overset{\text{Peso}}{1406.50} = 70.24\%$$

$$3.- \text{ Retiene tamiz 2.38 mm (No. 8): } \frac{596.00}{2002.5} = \frac{29.76\%}{100.00\%}$$

- 4.- Contenido de humedad

$$4.1- \text{ Pasa tamiz 2.38 mm (No. 8): } \\ 18\% \times 0.7024 = 12.64\%$$

$$4.2- \text{ Retiene tamiz 2.38 mm (No. 8): } \\ 30\% \times 0.2976 = 8.93\%$$

$$4.3- \text{ Contenido de humedad promedio} = \underline{\underline{21.57\%}}$$

5.- Peso Específico

		fracción
5.1- Pasa tamiz 2.38 mm:	$1.85 \times 0.7024 =$	<u>1.299</u>
5.2- Retiene tamiz 2.38 mm:	$1.34 \times 0.2976 =$	<u>0.399</u>
5.3- Peso Específico promedio	$=$	<u><u>1.698</u></u>

6.- % Absorción

		fracción
6.1- Pasa tamiz 2.38 mm:	$0.98\% \times 0.7024 =$	<u>0.688%</u>
6.2- Retiene tamiz 2.38 mm:	$1.70\% \times 0.2976 =$	<u>0.506</u>
6.3- % Absorción promedio	$=$	<u><u>1.194%</u></u>

3o. Datos asumidos deducidos de datos anteriores o tablas

- 3.1- Cantidad de cemento: 8 sacos/M³ para una resistencia media requerida de 150 kg/cm³ y un asentamiento de 8- 12 cm. (Tabla No. 9)
- 3.2- Cantidad de agua: 200 litros/M³ para una resistencia media requerida de 150 kg/cm² y un asentamiento de 8- 12 cm (Tabla No. 8)
- 3.3- Cantidad de admixtura: 88.71 cm³/saco de cemento para producir 25% de aire atrapado.

4o. Cálculo de cantidades de materiales por metro cúbico

$$4.1- \text{Cemento: } 42.63 \times 8 = 341.04 \text{ kg/M}^3 = \frac{341.04}{3.12 \times 1000} = 0.109307 \text{ M}^3/\text{M}^3$$

$$4.2- \text{Agua: } 200.00 \text{ " } = \frac{200.00}{1000} = 0.200000 \text{ "}$$

$$4.3- \text{Aire: } \text{ " } = 0.250000 \text{ "}$$

$$4.4- \text{Volumen Absoluto de Cemento + Agua + Aire} = 0.559307 \text{ "}$$

$$4.5- \text{Volumen Absoluto de Arena Pómez} = 1.0000 - 0.5593 = 0.440693 \text{ "}$$

$$4.6- \text{Peso de Arena Pómez: } 0.440693 \times 1.698 \times 1000$$

$$: 748.29 \text{ kg/m}^3$$

$$4.7- \text{Peso Unitario: } 1289.33 \text{ "}$$

(Suma de Cemento + Agua + Arena)

4.8- Proporción: $\frac{\text{Cemento}}{\text{Cemento}}$: $\frac{\text{Arena}}{\text{Cemento}}$

4.8.1- Proporción en Peso: $\frac{341.04}{341.04}$: $\frac{748.29}{341.04}$ = 1 : 2.194

4.8.2- Proporción en Volumen aparente:

a) Volumen Aparente de Cemento: $\frac{341.04}{1506}$ = 0.22645 M³/M³

b) Volumen Aparente de Pómez: $\frac{748.29}{820.00}$ = 0.91254 "

c) Proporción en Volumen aparente: 1 : 4.030

5o. Realización de Masada de Prueba

5.1- Tomando como base una masada de 10.00 kg de cemento, las cantidades de materiales a emplear son:

5.1.1-	Cemento:	10.000 kg
5.1.2-	Arena:	21.940 "
5.1.3-	Agua:	5.864 "
5.1.4-	Admixtura:	0.021 "
5.1.5-	Total:	37.825 kg

5.2 Corrección para agua de absorción

En las mezclas de concreto liviano solamente se debe calcular el agua de absorción en base al % de Absorción obtenido para el contenido de humedad actual.

En nuestro ejemplo tenemos:

Desarrollo de fórmula:

$$A_h = A_s + \% H_c \times A_s$$

$$A_h = A_s (1 + \% H_c) \dots\dots\dots (1)$$

Además:

$$\text{Agua de Absorción: } A_s \times \% \text{ Abs.} \dots\dots\dots (2)$$

Combinando (1) y (2), tenemos:

$$\text{Agua de Absorción} = \frac{A_h \times \% \text{ Abs}}{1 + \% H_c}$$

Donde:

A_h = Arena Húmeda actual

$\% \text{ Abs.}$ = % de Absorción

$\% H_c$ = % de Humedad contenida

Para el ejemplo que nos ocupa:

$$5.2.1- \text{ Agua de Absorción: } \frac{21.940 \times 0.0119}{1.2157} = 0.2147 \text{ kg}$$

5.3 Masada Práctica

5.3.1-	Cemento:	10.000 kg	
5.3.2-	Arena:	21.940 "	+ 0.215 kg (Agua de Absorción)
5.3.3-	Agua:	5.864 "	
5.3.4-	Admixtura:	0.021 "	
5.3.5-	Peso total:	38.040 "	

5.4 Hechura de la Mezcla de Prueba: (Para obtención de datos prácticos)

Procedimiento

- Mezclar la arena con 4/5 de la cantidad de agua estimada, durante 2 minutos para que la arena absorba el agua estipulada.
- Agregar el inclusor o atrapador de aire y esperar la generación de burbujas (1 minuto).
- Agregar cemento y ajustar el agua para la consistencia deseada (mezclar 2 minutos).

Los datos obtenidos del Concreto fresco son:

5.4.1-	Consistencia:	Plástica
5.4.2-	Asentamiento:	10 cm
5.4.3-	% de Aire:	26%
5.4.4-	Agua real utilizada:	Diseño - 0.746 kg
5.4.5-	Peso Unitario:	1244.52 kg/m ³

5.4.6- Temperatura ambiente:	24°C
5.4.7- % Humedad relativa:	58%
5.4.8- Tiempo de mezcla:	6 minutos
5.4.9- Probetas de ensayo:	4 cilindros de 15 x 30 cm

5.5 Datos analíticos de mezcla de prueba

$$\text{Volumen de concreto producido} = \frac{\text{Peso de Materiales}}{\text{Peso de Mezcla}}$$

a) Materiales

a.1- Cemento:	10.000 kg
a.2- Arena:	21.940 " + 0.215 kg
a.3- Agua:	5.865 " - 0.746 " = 5.118 kg
a.4- Admixtura:	0.021 "
a.5- Total:	37.294 kg

$$5.5.1 \text{ Volumen de concreto: } \frac{37.294}{1244.52} = 0.029967 \text{ m}^3/\text{masada}$$

$$5.5.2 \text{ Rendimiento: } \frac{\text{Volumen de Masada} \times 42.63}{\text{Cantidad de cemento en masada}}$$

$$: \frac{0.029967 \times 42.63}{10.000} = 0.1277 \text{ m}^3/\text{saco cemento}$$

5.5.3 Cantidades reales de materiales empleados por m³

Fórmulas:

$$\text{Cemento: } \frac{\text{Cantidad de cemento en masada}}{\text{Volumen de Masada}}$$

$$\text{Arena: } \frac{\text{Cantidad de Arena en masada}}{\text{Volumen de Masada}}$$

$$\text{Agua: } \frac{\text{Cantidad de Agua en masada}}{\text{Volumen de Masada}}$$

$$\text{Admixtura: } \frac{\text{Cantidad de Admixtura en masada}}{\text{Volumen de Masada}}$$

Peso Unitario: Suma de materiales reales (igual al peso Unitario de la mezcla).

$$5.5.3.1- \text{Cemento: } \frac{10.000}{0.09967} = 333.70 \text{ kg/m}^3$$

$$5.5.3.2- \text{Arena: } \frac{22.155}{0.029967} = 739.31 \text{ ''}$$

$$5.5.3.3- \text{Agua: } \frac{5.118}{0.029967} = 170.79 \text{ ''}$$

$$5.5.3.4- \text{Admix.: } \frac{0.021}{0.029967} = 0.70 \text{ ''}$$

$$5.5.3.5- \text{Total: } 1244.50 \text{ kg/m}^3$$

5.5.4 Peso Específico resultante de Arena Pómez

Es aquí, donde podemos obtener un valor para el peso específico aparente de la masa de arena a la humedad en que se encuentra, obteniendo los volúmenes absolutos efectivos de los otros materia-

les, utilizados en la mezcla.

Volúmenes Absolutos de Cemento, Agua, Admixtura y Aire:

$$5.5.4.1- \text{Cemento} = \frac{333.70}{3.12 \times 1000} = 0.106955 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$5.5.4.2- \text{Agua} = \frac{170.79}{100} = 0.170790 \quad "$$

$$5.5.4.3- \text{Admixtura} = \frac{0.70}{1.08 \times 1000} = 0.000650 \quad "$$

$$5.5.4.4- \text{Aire:} = \underline{0.260000} \quad "$$

$$\text{Suma:} = 0.538395 \quad "$$

(Cemento + Agua + Admix. + Aire)

$$5.5.4.5- \text{Volumen Absoluto de Arena} = 0.461605 \\ (1 - 0.538395)$$

5.5.4.6- Peso Específico Aparente de

$$\text{Arena Pómez:} = \frac{739.31}{0.461603} = \underline{\underline{1.602}}$$

5.6 Comparación entre datos de diseño y reales

$$5.6.1- \text{Cemento:} \quad 8 \text{ sacos/m}^3 \text{ (Diseño)} - \quad 7.83 \text{ sacos/m}^3 \\ \text{(Real)}$$

$$5.6.2- \text{Agua:} \quad 200 \text{ litros/m}^3 \quad " \quad - \quad 170.79 \text{ lit/m}^3 \\ \text{(Real)}$$

5.6.3- Aire:	25%	(Diseño) -	26%	(Real)
5.6.4- Densidad:	1289.33 kg/m ³	" -	1244.52 kg/m ³	(Real)
5.6.5- Peso Específico:	1.698	" -	1.602	(Real)

6o. Corrección

En vista de que es la mezcla de 8 sacos/m³ la que se estima que producirá una resistencia de 150 kg/cm², la corrección se hará para obtener una cantidad de 8 sacos/m³.

Esta corrección es válida solamente para cuando se va a usar el agregado en condiciones de humedad similares a la masada de prueba inicial.

6.1 Corrección para Cemento:

6.1.1- Cemento requerido: 341.04 kg/m³

6.1.2- Cemento real: 333.70 "

6.1.3- Diferencia: 7.34 "

6.1.4- Volumen absoluto: $\frac{7.34}{3.12 \times 1000} = 0.00235$
m³/m³

6.2 Corrección de Agua

Para mantener las condiciones de consistencia de la mezcla, conviene seguir con la relación Agua-Cemento, de 0.512 en peso, por lo tanto:

6.2.1- Agua requerida:	174.61 kg/m ³	
6.2.2- Agua Real:	170.79 "	
6.2.3- Diferencia:	3.82 "	
6.2.4- Volumen Absoluto:		= 0.00382 m ³ /m ³

6.3 Corrección de agregado

6.3.1- Volumen real de arena	= 0.461605 "
6.3.2- Nuevo volumen de agregado	= 0.455435 "
	(0.461605 - 0.00235 - 0.00382)

6.4 Cantidades finales:

6.4.1- Cemento:	341.04 kg/m ³	
6.4.2- Arena:	729.61 "	(0.455435 x 1.602 x 1000)
6.4.3- Agua:	174.61 "	
6.4.4- Admixtura:	0.70 "	
6.4.5- Peso:	1245.96 "	

6.5 Proporción en Peso: 1 : 2.139

7o. Realización de 2a. Masada de Prueba:

7.1 Masada Teórica:

7.1.1- Cemento:	10.000 kg
7.1.2- Arena:	21.390 "
7.1.3- Agua:	5.120 "
7.1.4- Admixtura:	0.021 "

7.2 Agua de Absorción

7.2.1- Cantidad de agua de
Absorción: $\frac{21.390 \times 0.0119}{1.2157} = 0.209$
kg

% H_c = 21.57 %, % Abs = 1.194%

7.3 Masada Práctica:

7.3.1- Cemento:	10.000 kg
7.3.2- Arena:	21.390 kg + 0.209 kg
7.3.3- Agua:	5.120 kg
7.3.4- Admixtura:	0.021 "
7.3.5- Total:	36.740 kg

7.4 Cálculos prácticos al realizar la 2a masada:

7.4.1- Consistencia:	Plástica
7.4.2- Asentamiento:	10 cm
7.4.3- Aire:	25 %
7.4.4- Agua real:	Diseño + 0.100
7.4.5- Peso Unitario:	1261.01 kg/m ³
7.4.6- Temperatura:	24°C
7.4.7- % Humedad Relativa:	58 %
7.4.8- Tiempo de mezcla:	6 minutos
7.4.9- Probetas de ensayo:	3 cilindros de 15 x 30 cm

7.5 Datos analíticos:

7.5.1- Volumen de concreto:	0.029215 m ³ /Masada
7.5.2- Rendimiento:	0.1245 m ³ /Saco de cem.
7.5.3- Cantidades reales de los materiales	
7.5.3.1- Cemento:	342.29 kg/m ³
7.5.3.2- Arena:	739.31 "
7.5.3.3- Agua:	178.67 "
7.5.3.4- Admixtura:	0.72 "
7.5.3.5- Suma total:	1260.99 "
7.5.4- Cálculo de Peso Específico del agregado:	
7.5.4.1- Cemento:	0.10971 m ³ /m ³
7.5.4.2- Agua:	0.17867 "
7.5.4.3- Admixtura:	0.00067 "

7.5.4.4- Aire:	0.25000 m ³ /m ³
7.5.4.5- Suma:	0.53905 "
7.5.4.6- Volumen absoluto de arena:	0.46095 "
7.5.4.7- Peso específico de arena:	$\frac{739.31}{0.46095} = 1.604$

7.6 Comparación entre datos de 2o Diseño y 2a Masada

7.6.1- Cemento:	8.00 Sacos/m ³ (Diseño) - 8.03 Sacos/m ³ (Real)
7.6.2- Agua:	174.61 Lit/m ³ " - 178.67 Lit/m ³ (Real)
7.6.3- Aire:	26 % " - 25 % "
7.6.4- Peso Unitario:	1245.96 Kg/m ³ (Diseño) - 1261.02 kg/m ³ (Real)
7.6.5- Peso Específico:	1.602 " - 1.604 (Real)

8o. Masadas Adicionales

Como se indicó anteriormente y para no perder tiempo en esperar resultados después de 28 días, es conveniente efectuar por lo menos dos masadas adicionales, una con menos cemento y otra con mayor cemento.

Procedimiento:**8.1 Masada No. 1 (Mayor cantidad de cemento)**

$$8.1.1- \text{Cantidad de cemento: } 8.25 \text{ Sacos/m}^3 = \\ = 351.69 \text{ kg/m}^3$$

$$8.1.2- \text{Cantidad de agua: } 184.21 \text{ Litros/m}^3$$

(Para un asentamiento de 8 - 12 cm)

$$8.1.3- \text{Aire: } 25 \%$$

8.1.4- Desarrollo:

$$8.1.4.1- \text{Cemento: } 351.69 \text{ kg/m}^3 = 0.11272 \\ \text{m}^3/\text{m}^3$$

$$8.1.4.2- \text{Agua: } 184.21 \text{ " } = 0.18421 \\ \text{m}^3/\text{m}^3$$

$$8.1.4.3- \text{Admixtura: } 0.72 \text{ " } = 0.00067 \\ \text{m}^3/\text{m}^3$$

$$8.1.4.4- \text{Aire} = 0.25000 \\ \text{m}^3/\text{m}^3$$

$$8.1.4.5- \text{Arena: } 725.65 \text{ " } = 0.45240 \\ \text{m}^3/\text{m}^3$$

$$8.1.4.6- \text{Total: } 1262.67 \text{ " } = 1.00000 \\ \text{m}^3/\text{m}^3$$

8.1.5- Conclusión:

$$8.1.5.1- \text{Proporción en Peso: } 1 : 2.060$$

8.2 Masada No. 2 (menor cantidad de cemento)

$$8.2.1- \text{ Cantidad de cemento: } 7.75 \text{ Sacos/m}^3 = \\ = 330.38 \text{ kg/m}^3$$

$$8.2.2- \text{ Cantidad de agua: } 172.39 \text{ Litros/m}^3 \\ \text{ (Para un asentamiento de 8- 12 cm)}$$

$$8.2.3- \text{ Aire: } 25 \%$$

8.2.4- Desarrollo:

8.2.4.1- Cemento:	330.38 kg/m ³	=	0.10589 m ³ /m ³
8.2.4.2- Agua:	172.39 "	=	0.17239 "
8.2.4.3- Admixtura:	0.72 "	=	0.00067 "
8.2.4.4- Aire:		=	0.25000 "
8.2.4.5- Arena:	755.56 "	=	0.47105 "
8.2.4.6- Total:	1259.05 "	=	1.00000 "

8.2.5- Conclusión:

$$8.2.5.1- \text{ Proporción en Peso: } 1 : 2.290$$

Con base en los resultados de resistencia y demás características de las mezclas de prueba, se escoge por interpolación la mezcla que registre la resistencia media requerida y demás características.

A continuación se adjunta un cuadro resumen del ejemplo estudiado:

CUADRO RESUMEN DE EJEMPLO TIPICO DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO LIVIANO

1.- Requisitos

Resistencia Nominal	140.00 kg/cm ²
Resistencia Media requerida	150.00 "
Asentamiento requerido	8 - 12 cm
% de Aire requerido	25 %

2.- Características de materiales

Material	Procedencia	Peso específico	Peso Unitario	% Abs.	M. F.	Hc %
Cemento	Novella	3.12	1506 Kg/m ³	----	----	----
Arena	Villa Nueva	1.689	820 "	1.19	3.03	21.57
Admix.	Resina Vinsol	1.08	-----	----	----	----

3.- Datos Asumidos

Cantidad de Cemento	8 Sacos/m ³
Cantidad de Agua	200 Litros/m ³
Cantidad de Admixtura	88.71 cm ³ /Saco

4.- Cálculo de Materiales

Material	Peso Kg/m ³	Volumen Absoluto m ³ /m ³	Volumen Aparente m ³ /m ³
Cemento	341.04	0.109307	0.22645
Agua	200.00	0.200000	
Aire		0.250000	
Arena	748.29	0.440693	0.91254
Total	1289.33	1.000000	
Proporción	1 : 2.194		1 : 4.030

5.- Realización de Masada

Cemento	10.000 kg
Arena	21.940 "
Agua	5.864 "
Admixtura	0.021 "
Total	37.825 "

Agua de Absorción: % Hc. 21.57
 % Abs. 1.19

0.215 kg

Peso corregido: 38.040 kg

Datos Prácticos

Consistencia	Plástica
Asentamiento	10 cm
% de Aire	26%
Agua real	Diseño - 0.746
Peso Unitario	1244.52 Kg/m ³
Temperatura	24°C
% Humedad Rel.	58%
Tiempo Mezcla	6 minutos
Fecha	4-4-69
Probetas	4 cils 15 x 30 cm

Datos Analíticos

Volumen de masada	0.029967 m ³
Rendimiento	0.1277 m ³ /Saco
Cemento	333.70 kg/m ³
Arena	739.31 "
Agua	170.79 "
Admixtura	0.70 "
Total	1244.50 "
Peso Específico Ar.	1.602

Conclusión:

Cemento: 7.83 Sacos/m³

Agua: 170.79 Litros/m³

6.- Corrección

	Requerido	Real	Diferencia
Cemento	341.04 Kg/m ³	333.70 kg/m ³	7.34 kg/m ³ = 0.00235 m ³ /m ³
Agua	174.61 "	170.79 "	3.82 " = 0.00382 "
Arena	729.43 "	739.31 "	9.88 " = 0.00617 "

Proporción: 1 : 2.139 (en peso)

Rel. A/C: 0.512

Fecha: 4-4-69

Realizó: A. Rodas M.

7.- Realización de 2a. Masada de prueba

Cemento	10.000 kg.
Arena	21.390 "
Agua	5.120 "
Admixtura	0.021
Total	

Agua de Absorción: % Hc. 21.57
 % Abs. 1.19
 0.209 kg

Peso corregido: 36.740 kg

Datos Prácticos

Consistencia	Plástica
Asentamiento	10 cm
% Aire	25%
Agua Real	Diseño + 0.100
Peso Unitario	1261.01 kg/m ³
Temperatura	24°C
% Humedad Rel.	58%
Tiempo de mezcla	6 minutos
Fecha	4-4-69
Probetas	3 cils 15 x 30 cm

Datos Analíticos

Volumen de masada	0.029215 m ³
Rendimiento	0.1245 m ³ /Saco
Cemento	342.29 kg/m ³
Arena	739.31 "
Agua	178.67 "
Admixtura	0.72 "
Total	1260.99 "
Peso Especifico Ar.	1.604
Conclusión:	
Cemento:	8.03 Sacos/m ³
Agua:	178.67 Litros/m ³

8.- Corrección: Ninguna.

CONTROL DE MEZCLA DE CONCRETO LIVIANO EN OBRA

Cuando ya se ha fijado la mezcla que producirá las características deseadas, nuestro objetivo en obra será mantener controlada la mezcla para obtener valores constantes de cantidad de cemento y rendimiento.

Los datos fijados por el Laboratorio son:

- 1.- Resistencia Media requerida.
- 2.- Cantidad de cemento/m³.
- 3.- Cantidad de agua para consistencia dada.
- 4.- Cantidad de aire atrapado.
- 5.- Proporción (ocasionalmente, cuando el % Hc en obra es similar al % Hc en las mezclas de prueba).

El control que se realice puede ser por peso o por volumen, pero el equipo que no debe faltar para el mismo, debe ser el siguiente:

- 1.- Equipo completo para medir consistencia.
- 2.- Balanza con capacidad para 20 kg.
- 3.- Balanza con aproximación de 0.1 g.
- 4.- Medidor de aire y recipiente para medir Peso Unitario.
- 5.- Estufa o calentador para secar muestras de arena y obtener % de humedad.
- 6.- Desecador (recomendable).
- 7.- Moldes para toma de muestras.
- 7.- Juego de tamices:

Indispensable:	No. 8 (USSS): 2.38 mm
Recomendable:	Serie 4, 8, 16, 30, 50 y 100

El control por peso se efectúa cuando se cuenta con equipo para dosificación por peso, y el control por volu-

men cuando la dosificación se hace en medidas de un volumen previamente determinado. Es preferible la dosificación por peso por ser el método más exacto y preciso.

En ambos casos el procedimiento inicial de cálculo es el mismo: Encontrar el % de Humedad de Arena y diseñar la mezcla para los datos fijados por el Laboratorio.

EJEMPLO TIPICO (Cuando la dosificación es por peso)

1.- Datos de Materiales

Material	Procedencia	Peso Específico	Peso Unitario	% de Absorción	Módulo de finura	% de Humedad
Cemento	Novella	3.12	1506	---	---	---
Arena	Villa Nueva	1.61	810	1.28	3.09	25%
Admixtura	Resina Vin.	1.08	----	---	---	---

2.- Datos fijados por Laboratorio

Cemento	6.5 sacos/m ³	Observaciones:
Agua	210 Litros/m ³	Asentamiento: 8 - 12 cm
Admixtura	78 cm ³ /saco	Resistencia: 50 kg/cm ²
		Dosificación por peso
		% Aire: 25%

A continuación se hace el cálculo de materiales de la masada de prueba, se ajusta y corrige ésta por consistencia y para obtener la cantidad de cemento especificada o sea de 6.5 sacos/m³.

Al realizar la mezcla y corregirla, se obtienen por ejemplo, los siguientes datos:

$$\text{Cemento:} \quad 277.09 \text{ kg/m}^3 = 0.08810 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\text{Agua:} \quad 200.00 \text{ " } = 0.20000 \text{ "}$$

(para asentamiento de 10 cm)

$$\text{Arena:} \quad 739.04 \text{ " } = 0.46190 \text{ "}$$

$$\text{Aire:} \quad = 0.25000 \text{ "}$$

$$\text{Peso Unitario:} \quad 1216.13 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Proporción en Peso:} \quad 1 : 2.667$$

Con estos datos de base, se procede a fabricar otras masadas, y se comprueba el % de aire para mantenerlo dentro del límite de 25% establecido $\pm 2\%$

Se comprueba así mismo la consistencia para mantener el asentamiento entre 8-12 cm y se establece el peso Unitario, el cual deberá ser de un valor determinado para que el contenido de cemento varíe entre 6.5 sacos/m³ ± 0.05 . Deberá tratarse en obra de supervisar el desarrollo de la fundición controlando cada masada en su Peso Unitario y % de Aire, con el objeto de evitar cualquier alteración, los contenidos de humedad deberán ser controlados para mantenerlos entre límites aceptables ($\pm 2\%$).

En un control de obra puede suceder lo siguiente:

1. Una disminución o aumento en el % de aire atrapado y por consiguiente: un aumento o disminución en el Peso Unitario.
 Causa: Mal dosificación del inclusor de aire o varia
ciones en las características del mismo.
 Solución: Verificar la dosificación y características del inclusor y hacer los ajustes correspon-
dientes.

2. Una disminución o aumento en la fluidez de la mezcla.
 Causa: Variaciones apreciables en el % de Humedad contenida del agregado.
 Solución: Verificar el % de humedad y efectuar un nuevo diseño para mantener la cantidad de cemento constante.

Se observará que el proceso de control en fundiciones de concreto liviano es muy laborioso y exigente en comparación con el concreto normal, pero dadas las peculiaridades del mismo, este control al final dará buen resultado al obtener un concreto liviano de características uniformes y con las condiciones especificadas al inicio de la fundición.

CONCLUSIONES

- 1- El estudio realizado fue producto de varios ensayos y aunque presenta un método sensiblemente laborioso, puede servirnos para determinar con exactitud el método de proporcionamiento y corrección de mezclas de concreto liviano, empleando materiales de poco peso.
 Se considera que el método descrito puede servir de base para controlar proporciones, dentro de límites

aceptables y con muy pequeñas variantes; datos tales como cantidad de agua de mezcla para una trabajabilidad dada, % de aire atrapado, densidad y resistencia mecánica pueden ser controlados con un razonable margen de exactitud.

En conclusión, se considera que el estudio constituye una guía segura para el diseño y control de obras de fundiciones de concreto liviano y será un auxiliar eficaz para los Ingenieros y Laboratoristas que se dediquen a este trabajo.

II- Del estudio realizado se deduce lo siguiente:

1. De los agregados:

Los agregados livianos de origen volcánico (pómez) son completamente distintos a los agregados normales (arena de río, grava o piedra triturada) en su comportamiento. Sus características son diferentes y por lo tanto, deben usarse métodos de ensayo un poco más laboriosos que los normalizados, y criterios diferentes en su valoración y proporcionamiento.

La forma de sus partículas es más tosca y áspera, por lo que resultan a iguales condiciones que los normales, en mezclas menos trabajables y con más disgregación; el módulo de finura es más alto que el de agregados normales similares, lo que indica graduaciones más gruesas y con gran ausencia de finos.

La avidéz de agua y el peso específico aparente de las partículas es otra característica importante en los agregados livianos; tal como indicamos en páginas anteriores, cuando nos referimos a los materiales empleados, se observaron características

tales como: Variación en el % de Absorción y Variación en el Peso Específico aparente para diferentes contenidos de humedad y tiempos de permanencia en contacto con el agua para las diferentes fracciones de tamaño de un mismo agregado, que tienen características también diferentes. Estas características fueron estudiadas para encontrar las distintas variaciones: % Absorción - % de Humedad y Peso Específico aparente - % de Humedad y lograr valores más aceptables en el procedimiento de diseño y corrección de mezclas de concreto liviano.

Podemos indicar que con los datos encontrados para las distintas arenas pómez estudiadas, se acelera el diseño de mezclas y se está en capacidad de obtener la mezcla deseada con dos correcciones como máximo.

2. Del inclusor de aire :

El inclusor de aire es necesario para la realización de mezclas de concreto liviano con agregados de poco peso; la forma, la textura y graduación de las partículas, que producen poca adherencia y trabajabilidad, obliga al uso de un agente aireante; las mejoras obtenidas son: Menor exudación, mayor trabajabilidad, reducción en el contenido de agua, mejor dispersión del cemento, mayor adhesión de éste y el agregado y mayor cohesión en la mezcla. El contenido de aire puede ser considerado como un elemento importante en las mezclas de concreto liviano ya que forma la cuarta parte del volumen absoluto de los componentes.

Es muy influyente en el peso unitario resultante y por consecuencia afecta la resistencia del concreto.

El inclusor de aire es permitido por el ACI (Instituto Americano del Concreto) ya que en sus "Recomendaciones Prácticas para el Concreto Liviano tipo estructural", lo incluye como componente obligatorio en el diseño de mezclas, debido como ya queda dicho, por las ventajas adicionales que incluye.

3. Del concreto:

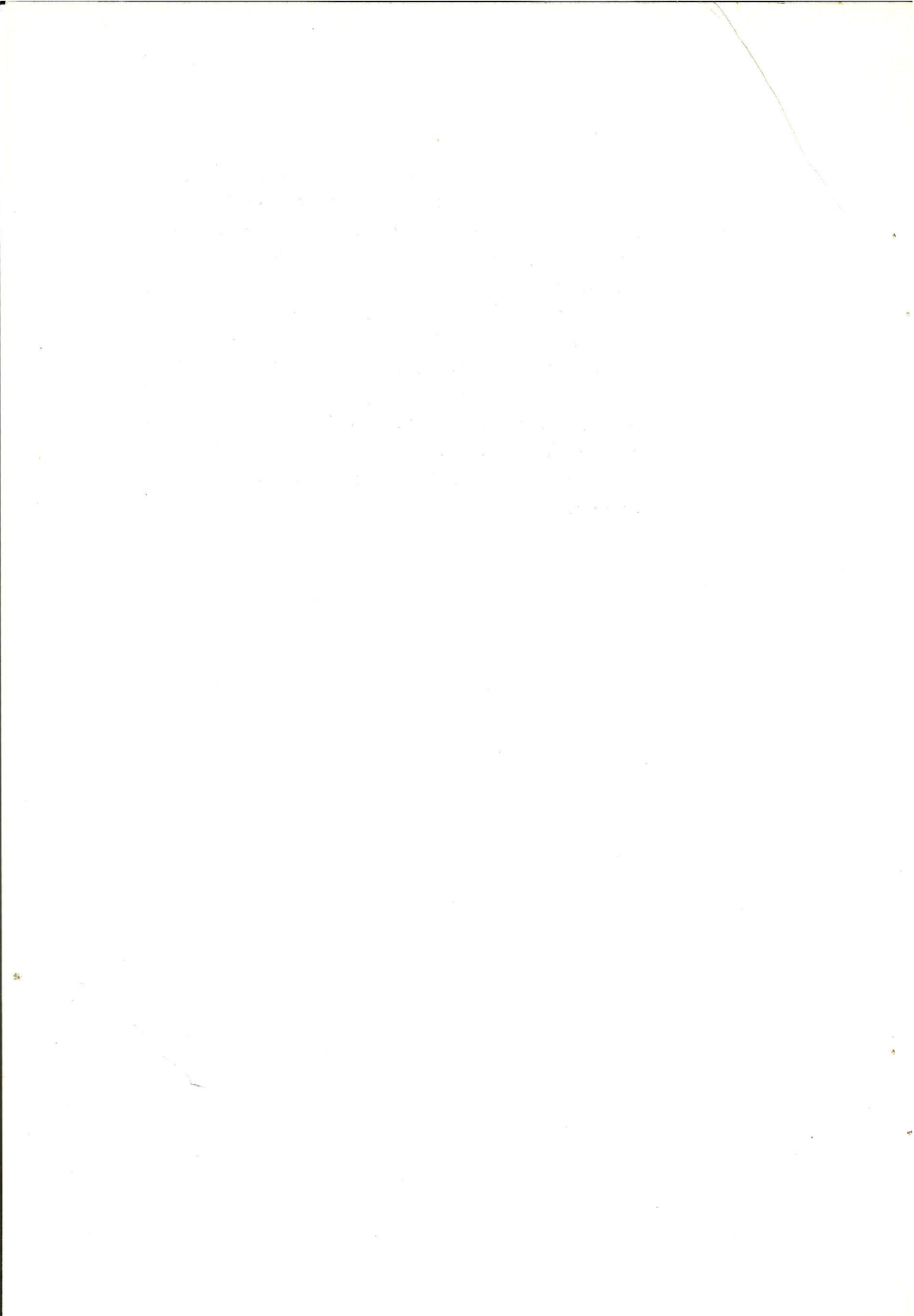
El diseño de mezclas de concreto liviano es esencialmente el mismo que para concreto normal; la variante principal es que el peso específico aparente de la masa de arena no es constante y difiere con el contenido de humedad actual del agregado, igual consideración puede hacerse con el % de Absorción.

Es necesario entonces el control en obra de estas características para poder normalizar la realización de mezclas de concreto liviano; si fuera posible uniformar el contenido de humedad del agregado sería factible efectuar una sola corrección y mantener un contenido de agua de mezcla constante. Conviene por lo tanto, mantener el agregado con un contenido de humedad con la menor variación de humedad posible. El contenido de aire atrapado una vez fijado el % óptimo debe mantenerse sin variaciones mayores de $\pm 2\%$ pues fuera de estos límites produce cambios en las demás características (Asentamiento, Peso Unitario, Contenido de Cemento, etc.) y propiedades resultantes. Debe tenerse especial cuidado en la selección del personal calificado para hacer las correcciones rápidas en el momento de surgir variables que descontrolen las características previamente fijadas. Para el caso, deben seguirse

las indicaciones apuntadas en la parte referente a "Control del Concreto Liviano en Obra".

En conclusión, el control de asentamiento como una medida de fluidez que se realiza en mezclas de concreto normal, debe acompañarse del control de % de Aire atrapado y Peso Unitario cuando se trata de mezclas de concreto liviano.

De esta manera, podrá evitarse cualquier anomalía causada por incrementos imprevistos del % de Aire ocasionados por mal dosificación del inductor de aire o bien incrementos de consistencia ocasionados por variaciones en el contenido de humedad



TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO LIVIANO Y SUS METODOS DE MEDIDA

Introducción

El concreto es uno de los materiales que más se utiliza en la construcción y de los más importantes, como lo prueba el hecho de que la mayoría de los centros que investigan sobre el comportamiento de materiales, le han asignado un lugar preferente.

El empirismo primitivo en tecnología del mismo se va transformando en un conjunto de leyes y relaciones basadas en la experimentación científicamente controlada, que si bien no siempre son de fácil traducción a expresiones matemáticas, van formando la base del desarrollo científico de dicha tecnología que va pasando poco a poco de un arte a una ciencia.

Una de las propiedades o características que generalmente no sabemos expresar o medir, debido a la complejidad que presenta, es su "Trabajabilidad" o "Docilidad", como término para expresar la cualidad del concreto para ser manipulado y colocado correctamente en las formaletas de las obras.

Es necesario por lo tanto, fijar el término "Trabajabilidad", porque es una de las propiedades más importantes y fundamentales del concreto fresco. La trabajabilidad es desde luego una función de la pastosidad y fluidez de la masa y su grado adecuado para condiciones dadas dependerá de los medios existentes en la obra para el manipuleo, transporte y colocación del concreto.

Un problema es el de medir con aparatos de laboratorio el grado de "Trabajabilidad" que sea adecuado a los

medios que haya en obra.

Existen variados aparatos de los cuales se dice que miden la "Trabajabilidad", pero en la realidad son dispositivos que solamente miden una característica de ese término tan complejo.

Teniendo como meta presentar un método que no sea laborioso ni propio de un laboratorio, sino que cumpla con la finalidad de dar a conocer cual es esa facilidad de manipuleo y colocación en obra, que necesitan los constructores, es que hemos hecho este estudio de los diferentes métodos existentes y decidir cuál es el más indicado para las condiciones de obra.

La palabra Trabajabilidad, es como se indicó anteriormente, un término muy complejo, por lo que hay infinidad de definiciones, de las cuales las más importantes son las siguientes:

ASTM C-125-66

"Trabajabilidad del concreto, es la propiedad que determina el esfuerzo requerido para manejar una cantidad de concreto fresco con pérdida mínima de homogeneidad.."

Fernando Moral (de su libro: Hormigón Armado)

"Trabajabilidad: Bajo esta denominación se designa el conjunto de dos cualidades muy importantes de los hormigones:

1. La propiedad de no dar lugar a ningún fenómeno de separación, tanto durante el transporte como en el vertido.
2. La propiedad de ser fácilmente deformable.

Estas dos propiedades pueden ser definidas como: Cohesión y Plasticidad. Siendo de gran interés su conocimiento, conviene aclarar la diferencia entre plasticidad de un hormigón y la consistencia o fluidez.

La plasticidad es función de la granulometría de los agregados, principalmente del contenido de finos inferiores a 0.1 mm de diámetros, mientras que la Fluidez depende solamente de la cantidad de agua de mezcla.

Por ejemplo: Un hormigón puede ser plástico aunque sea relativamente seco, pero la arena muy mojada no será plástica nunca. En conclusión, la trabajabilidad depende a la vez de la plasticidad y de la fluidez.

Newman (Research report, 6 Nov. 68)

"Trabajabilidad: se define como una medida de por lo menos tres propiedades:

1. Compactabilidad.
2. Movilidad.
3. Estabilidad.

Se necesitarán tres aparatos distintos para medir cada propiedad..."

Hughes (Journal of Materials, Vol. 2 No. 3, Sept. 67)

"Trabajabilidad como término colectivo para incluir todas las propiedades esenciales del concreto en una condición plástica..."

Cartilla del Concreto A.C.I. (México, D.F. 1965)

"Consistencia" es un término general que se refiere al

carácter de la mezcla con respecto a sus estados de fluidez. La consistencia abarca todos los grados de fluidez, desde la más seca hasta la más fluida de todas las mezclas posibles. La expresión "Mezcla plástica" se emplea para describir una mezcla cuya consistencia se encuentra entre seca, desmenuzable y la muy fluida o acuosa. Una mezcla plástica es cohesiva y no se desmenuza. La mezcla fluye lentamente sin segregarse.

El término "Trabajabilidad" se utiliza con referencia a las mezclas de concreto para indicar la mayor o menor facilidad que se puede encontrar al colocarlas en un lugar determinado. Es sinónimo de "Docilidad". Envuelve no sólo al significado de consistencia del concreto sino también las condiciones bajo las cuales se colocará, forma y tamaño de los elementos estructurales, espaciamiento de varillas de refuerzo u otros detalles que se relacionan con el llenado rápido de las cimbras..."

LOS MATERIALES Y SU INFLUENCIA EN LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO EN GENERAL

Los factores que influyen la trabajabilidad de una mezcla de concreto en general son:

1. Proporcionamiento.
2. Contenido de Agua.
3. Granulometría y forma de las partículas.
4. Contenido de aire atrapado.

1. Proporcionamiento

Una de las finalidades del diseño de mezclas de concreto es la obtención de una manejabilidad adecuada que permita en la obra una completa compactación

con el equipo que se tenga disponible. Este objetivo se logra si el proporcionamiento de los materiales está bien definido. El concreto proveniente de mezclas ricas (gran contenido de cemento) es necesariamente más trabajable que concreto proveniente de mezclas pobres (bajo contenido de cemento). Esta comparación entre mezclas pobres y ricas define la influencia que tiene el proporcionamiento del concreto en la trabajabilidad del mismo.

2. Contenido de Agua

El cemento para hidratarse necesita de una cantidad de agua determinada, que generalmente es $26 \pm 2\%$; pero con esa mínima parte de agua, el concreto no llega a tener la consistencia deseada, necesita entonces cierta cantidad de agua adicional para llegar a serlo, dando margen para obtener diversos grados de consistencia.

Es por esta razón de que el contenido de agua en una mezcla influye en la fluidez de la misma, así se dice que hay mezclas secas, plásticas, fluidas, etc.

3. Granulometría y forma de las partículas

Para una misma cantidad de agua y relación Agua-Cemento, la trabajabilidad se ve afectada por la graduación de las partículas del agregado; cuando hay ausencia de finos (graduación gruesa), la pasta Agua-Cemento es insuficiente para llenar todos los huecos y se obtienen mezclas con mucha disgregación; cuando hay excesiva cantidad de finos (graduación fina), la pasta Agua-Cemento no alcanza a recubrir todas las partículas y se obtienen mezclas pobres y demasiado secas.

En ambos casos la unión Pasta-Agregado es muy pobre

y da concretos de muy baja trabajabilidad.

Las partículas en su forma tienden también a influir en la trabajabilidad de las mezclas; si las partículas son angulosas producen gran trabazón entre sí dificultando la movilidad entre las mismas, y necesitan más mortero Agua-arena-cemento en comparación con partículas de forma redondeada y de buena graduación, para una consistencia y plasticidad similar.

4. Contenido de aire atrapado

No obstante que el objetivo de un inclusor de aire es incrementar la durabilidad del concreto, es un hecho innegable que el incremento de aire atrapado mejora la trabajabilidad de las mezclas. Una explicación va ledera sería la siguiente: Las burbujas de aire tienden a ser globitos individuales que funcionan como pequeños granos de arena redondeados que incrementan el escurrimiento y movilidad de las partículas y la cohesión entre las mismas, simulando el efecto de cojinetes entre las partículas.

Esto trae como consecuencia la idea de que a mayores contenidos de aire mayor trabajabilidad, pero deberá buscarse un grado de trabajabilidad que sea aceptable sin afectar otros factores tan importantes como la resistencia y la durabilidad del concreto.

TRABAJABILIDAD EN CONCRETO LIVIANO

El hecho de usar un agregado cuyo máximo tamaño de partículas es de 6.35 mm indica que el concreto liviano estudiado es en sí, un mortero; si a esto agregamos que se emplea un inclusor de aire, estaremos en presencia de un material que de por sí es ampliamente trabajable.

Los factores que afectan la trabajabilidad del concreto liviano son los mismos que afectan el concreto normal en general, a excepción del proporcionamiento de los materiales que es un factor que puede estimarse que no afecta sensiblemente la trabajabilidad de las mezclas, salvo el caso que se trate de mezclas muy pobres en cemento (menos de 5 Sacos/m³). Para concreto liviano estructural (más de 7 Sacos/m³) puede decirse que no afecta la trabajabilidad debido a que se trata esencialmente de un mortero con inclusor de aire.

No puede decirse lo mismo de la granulometría, de la forma de las partículas y del peso específico de las mismas, ya que estos agregados tienen partículas angulosas y ásperas que poseen diferentes pesos específicos en sus diversas fracciones, produciendo concretos —cuando no se emplea inclusor de aire— que tienen altos contenidos de agua, muy disgregables y con exceso de exudación de agua.

Es por esta razón que el uso del inclusor de aire es obligado para este tipo de concreto, ya que al incrementar el aire, se forma un agregado ideal (Burbujas de aire) que ayuda a disminuir la disgregación, aumenta la plasticidad y evita la exudación.

Además el contenido de agua también es un factor importante que afecta principalmente la consistencia de las mezclas, de tal manera que para mezclas muy fluidas se necesitará mayor cantidad de agua que para mezclas plásticas; esta variación de agua-consistencia como se verá más adelante, es casi proporcional.

El estudio realizado consistió en tratar de determinar un método que fuera sencillo y capaz de medir en su mayor parte todas las características de consistencia, plasticidad y deformabilidad del concreto liviano, que en con-

junto son manifestaciones de la "trabajabilidad" del mismo.

DESCRIPCION DE METODOS PARA MEDIR LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO

1. Ensayo de Revenimiento o Asentamiento (Slum Test. A.S.T.M. C-143-66)

La consistencia es una de las formas de calificar la manejabilidad de un concreto y se determina mediante la prueba del cono de Abrahms, la cual consiste en medir el asentamiento que presenta una mezcla fresca al quitársele el molde en el que inicialmente se había colocado, es decir, la diferencia de altura entre el molde y la que guarda la mezcla después de quitarlo, determina el asentamiento, el cual se expresa en centímetros y varía especialmente en función del agua adicionada a la mezcla. La prueba se hace con un cono de 30 centímetros de alto, metálico, con un diámetro en la base de 20 centímetros y en la parte superior de 10 centímetros, con una muestra representativa del concreto.

El cono de revenimiento debe primero inspeccionarse para asegurarse de que la superficie interna se encuentra limpia, seca y libre de cemento fraguado.

El cono se coloca entonces sobre una superficie suave, plana, no absorbente, preferentemente una placa de metal, el operador sujeta el molde firmemente en su lugar, mientras se llena, parado sobre las orejas que lleva en su parte inferior. El molde se llena hasta una tercera parte de su volumen de concreto, que es picado usando una varilla de 1.58 cms de diámetro y 61 cm de longitud redondeada en su extremo inferior y apisonando 25 veces.

El llenado del cono se completa con capas sucesivas similares a la primera, emparejando la parte superior, para que el molde esté exactamente lleno. El cono debe mantenerse sujeto con los pies hasta que el concreto excesivo alrededor de la base del cono se haya limpiado. Se levanta entonces el molde verticalmente, inmediatamente (10-15 seg) después de haber sido llenado. De esta manera se permite que el concreto resbale y se mide la altura cuando deja de asentarse. La consistencia se registra en término de centímetros de caída del espécimen durante la prueba, lo cual se conoce como asentamiento.

Existen tres distintos tipos de asentamiento: El primero consiste en un resbalamiento general y uniforme sin rompimiento de la masa, y puede denominarse como "verdadero". El segundo es un asentamiento "cortante" o por corte, el cual aparece cuando la parte media superior del cono se corta y resbala hacia abajo en un plano inclinado, en tal caso conviene repetir el ensayo y registrarse en el reporte de pruebas. El tercer tipo resulta de un deslizamiento total del cono.

2. Ensayo de Ecurrimiento o Fluidiez (Test for Flow of Portland Cement Concrete by use of the flow table)

Esta prueba fue desarrollada inicialmente en América y se hace formando el concreto dentro de un cono truncado de 12.5 cm de alto y con base de 25.4 cm sobre una mesa de sacudidas. Esta última debe cumplir con el diseño especificado en Norma A.S.T.M. C-124-39.

La mesa de fluidiez consiste en una mesa horizontal, de metal pulidos, de 76 cm de diámetro, montada sobre un eje vertical de deslizamiento libre. Una leva levanta la mesa media pulgada y hace que caiga repentinamente. Ha

biendo formado el cono de concreto sobre la mesa, el cono es operado manualmente para levantarlo y hacer caer quince veces en quince segundos. Se mide el diámetro promedio que se extendió y se usa para calcular el escurrimiento en porcentaje en la fórmula siguiente:

Cálculo:

$$\text{Porcentaje de escurrimiento} \left(\frac{d}{D} \times 100 \right) - 100$$

- d = Promedio en cm de 6 diámetros sobre la superficie del concreto después de la prueba.
 D = Diámetro original en cm de la base inferior del molde cónico.

3. Ensayo de Manejabilidad (Prueba de remoldeo)

En el esfuerzo de remoldeo se aprecia la resistencia que opone un concreto a ser deformado durante su manejo, y se mide tanto la fricción que presentan las partículas entre sí, dentro de la masa de concreto, como la resistencia que oponen al deslizamiento sobre una superficie dada, por esto ésta prueba tiende a dar una apreciación más completa de la manejabilidad de un concreto.

El dispositivo que se emplea es original de T.C. Powers miembro de A.C.I.

Equipo

Dispositivo para determinar consistencia y además un cilindro de metal de 30.5 cm de diámetro y 20.3 cm de altura (firmemente sujetado a la mesa de fluidez con altura de caída de 6.4 mm) y en el que se coloca el cono de asentamiento. Dentro del cilindro anterior y rodeado al cono, un anillo que tiene 21 cm de diámetro por 12.7 cm de al-

tura, conocido como anillo de inmersión; éste estará dispuesto sobre el cilindro exterior en tal forma que la distancia entre el borde inferior del anillo de inmersión y el fondo del cilindro pueda variar de 6.7 cm a 7.6 cm a intervalos de 3.2 mm. Una placa circular con peso de 1.948 kg se coloca sobre el concreto moldeado una vez que se quita el cono de asentamiento.

Procedimiento:

1. Se dispone el cono de asentamiento sujetándolo y centrándolo en el cilindro, a la vez que el anillo de inmersión.
2. Se llena del cono de asentamiento en tres o más capas. Se golpea con el apisonador cada una, tantas veces como sea necesario para que aflore la lechada del concreto.
3. Mediante el mismo apisonador se enrasa el concreto al borde superior del cono.
4. Se quita el cono elevándolo suavemente y de manera continua.
5. Se coloca el platillo de carga sobre el concreto ya sin molde.
6. Se acciona la manivela de la mesa de escurrimiento, con un ritmo uniforme de un golpe por segundo, hasta que la masa de concreto pasa entre el anillo de inmersión y el fondo del cilindro y se eleve a una altura de 8.1 cm del fondo del cilindro, entre las paredes del anillo de inmersión y el cilindro exterior.

La calificación del ensayo de manejabilidad depende-

rá del número de golpes necesarios para hacer que la masa del concreto alcance la posición citada anteriormente.

La prueba descrita solamente es comparativa, debiendo referirse o calificarse como más manejable, la mezcla que para una consistencia o fluidez dada, requiere el mínimo de golpes para satisfacer la condición marcada en punto 6.

4. Prueba de remoldeo sin anillo de inmersión

Este ensayo se considera como una combinación de la prueba de remoldeo presentada por Powers y la prueba de remoldeo según norma británica B.S. 1881-1952.

La prueba se hace de acuerdo con norma Austríaca ONORM B 2303 y consiste esencialmente de un cilindro fijo y centrado a una mesa de fluidez. Dentro del cilindro se coloca un cono truncado de metal que puede ser elevado a una altura de 7 cm del fondo del cilindro. El cono es el mismo descrito para la prueba de revenimiento y la mesa de fluidez es la misma que se usa para hacer ensayo de fluidez.

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

El cono es llenado con concreto fresco y compactado de acuerdo con ensayo normalizado de revenimiento. Luego el cono es elevado y fijado a una altura de 7 cm de la base del cilindro y por medio de la manivela de la mesa de escurrimiento se sacude tantas veces hasta que la muestra de concreto quede remoldeada en el cilindro.

La consistencia medida de esta manera es caracterizada por el trabajo requerido para remoldear el concreto fresco. El valor numérico de este trabajo podría ser llamado

"Medida de remoldeo" y puede ser calculado de la siguiente fórmula:

$$r = 0.16 v n$$

r = Medida de remoldeo.

v = Altura de cilindro de concreto remoldeado en cm.

n = Número de golpes necesarios para completar el remoldeo.

Cuando el concreto fresco no pueda ser remoldeado después de 100 golpes, la prueba descrita puede considerarse no apta para el ensayo.

5. Prueba de remoldeo vibratorio

El aparato es análogo al de Powers, con la única diferencia esencial de que en vez de una mesa de fluidez, se utiliza una mesa vibratoria.

Aparato Vebe

Este aparato se diferencia en que los movimientos del concreto no están limitados por la presencia del anillo de inmersión. La prueba consiste en que una vez moldeado el concreto dentro del cono y removido éste, se conecta el vibrador y se pone en marcha un cronómetro. Ambos se paran cuando se considera que el concreto no sólo ha adquirido la forma cilíndrica del recipiente sino que, además, está consolidado bajo el efecto de la vibración.

El resultado se expresa en grados Vebe, por la siguiente fórmula:

$$S = t \frac{V_f}{V_o}$$

En esta fórmula:

- S = Valor de la consistencia en grados Vebe.
 t = Tiempo en segundos indicado por el cronómetro.
 V_o = Volumen inicial del concreto.
 V_f = Volumen final del concreto.

6. Ensayo de Penetración

Estas pruebas consisten esencialmente en tener en cuenta en alguna forma la energía necesaria para que un cuerpo penetre dentro del concreto.

Aparato de Pearson y Hitchcock

El aparato está formado por un molde cilíndrico cerrado por su parte inferior, y sujeto a una pequeña mesa de escurrimiento, sobre la parte superior del molde existe una guía para una varilla, que puede descender libremente por su peso, y graduada de tal forma que es posible ver directamente la profundidad a que se encuentra. Los resultados se expresan por una cifra, que es proporcional al número necesario de caídas de la mesa para producir una cierta penetración de la varilla en el concreto.

Aparato de George A. Smith

En este aparato la penetración es producida por la caída reiterada sobre el cuerpo penetrante de un pequeño martillo, en vez de por sacudidas del molde que contiene el concreto, para evitar su posible segregación.

Prueba de Penetración por medio de Bola de Penetración

Método descrito en ASTM C-360-63 que consiste esencialmente en un cilindro con forma hemisférica en la parte

de abajo y con un peso de 30 ± 1 libras, el cual está referido a un marco que le sirve de guía durante el ensayo.

El cilindro se coloca sobre la superficie del concreto a ensayar y se deja libre, luego es tomada la lectura de penetración.

Prueba de Penetración según norma DIN 1048

Este ensayo puede considerarse como una variación del citado anteriormente. El aparato en el cual se efectúa consiste en lo siguiente:

- a) Una varilla conteniendo en su parte inferior un cilindro de acero de 10 cm de diámetro, el cual tiene un fondo hemisférico. El peso del penetrómetro es aproximadamente de 15 kg.
- b) Un marco adaptado para servir de guía al penetrómetro.

El procedimiento es el que sigue:

El concreto fresco es colocado en un molde cúbico de 30 cms, en dos capas. Cada una de estas capas es compactada con 27 golpes por medio de un apisonador normalizado de 12 kg de peso. Todo el material excedente se quita de la superficie dejando ésta lisa por medio de una reglilla de metal. El penetrómetro es entonces dejado libre desde una distancia de 20 cm a la superficie del concreto, haciendo la lectura de penetración cuando el sistema queda en reposo.

La consistencia medida de esta manera se caracteriza por la profundidad de penetración. Es un valor numérico que puede llamarse "medida de penetración".

7. Ensayos de Densidad

Estos ensayos tienen por objeto poner de relieve la capacidad del concreto para adquirir la densidad correspondiente a un material prácticamente sin huecos.

Aparato del Factor Compactante (Glanville, Collins and Mathews)

La prueba del factor compactante fue ideada para medir el grado de compactación obtenido al realizar una cierta cantidad de trabajo especificado sobre el concreto, y por lo tanto, mantiene una relación estrecha con la manejabilidad.

El aparato usado para las pruebas del factor compactante consiste fundamentalmente en dos tolvas en forma de conos truncados invertidos y un depósito cilíndrico. Al hacer la prueba, la tolva superior se llena con una muestra representativa del concreto. Cuando está completamente llena, se hace ceder la puertecilla articulada que permite que el concreto caiga dentro de la segunda tolva. El llenado de esta segunda tolva es así efectuado por medio de un método standard, minimizando las diferencias personales. El concreto se libera de la segunda tolva de manera similar cayendo dentro del depósito cilíndrico. El concreto excedente se elimina de la superficie del cilindro, el cual contiene un cierto volumen de concreto que ha sido objeto de una cantidad definida de trabajo al caer de la segunda tolva.

El contenido del cilindro se pesa, obteniéndose de esta manera el peso del concreto parcialmente compactado: W_p .

Se llena entonces el cilindro de la misma muestra en

capas aproximadamente de cinco centímetros de espesor, apisonándolas fuertemente o de preferencia vibrándolas para obtener una compactación completa.

La superficie se nivela en la misma forma y se pesa el concreto contenido dentro del cilindro. Este es el peso del concreto completamente compactado: W_f .

El factor de compactación es la relación W_p/W_f del peso parcialmente compactado al peso del concreto completamente compactado.

Es lógico suponer que la manejabilidad aumenta al aproximarse el factor de compactación a la unidad.

Aparato de Faury y Lamare

Este aparato consta de dos moldes, uno de ellos armado, dentro de los cuales se coloca el concreto con una cierta consolidación, por apisonado con varillas normalizadas. Se pesan los moldes llenos, con el objeto de hallar las densidades del concreto, que serán distintas por la dificultad para la consolidación que supone la presencia de la armadura de uno de ellos, y se halla la relación de estas dos densidades, que recibe el nombre de "Coeficiente de Plasticidad".

DESCRIPCION Y RESULTADOS DE METODOS ESTUDIADOS

La mayoría de ensayos realizados en el concreto fresco, se sujetaron a normas establecidas, pero en algunos casos se hicieron modificaciones a los métodos de ensayo, dadas las características peculiares del concreto liviano de pómez.

Métodos estudiados

- 1.- Ensayo de Asentamiento.
- 2.- Ensayo de Penetración.
- 3.- Ensayo de Escurrimiento del concreto.
- 4.- Ensayo de Manejabilidad o remoldeo.
- 5.- Ensayo de Factor de Compactación.

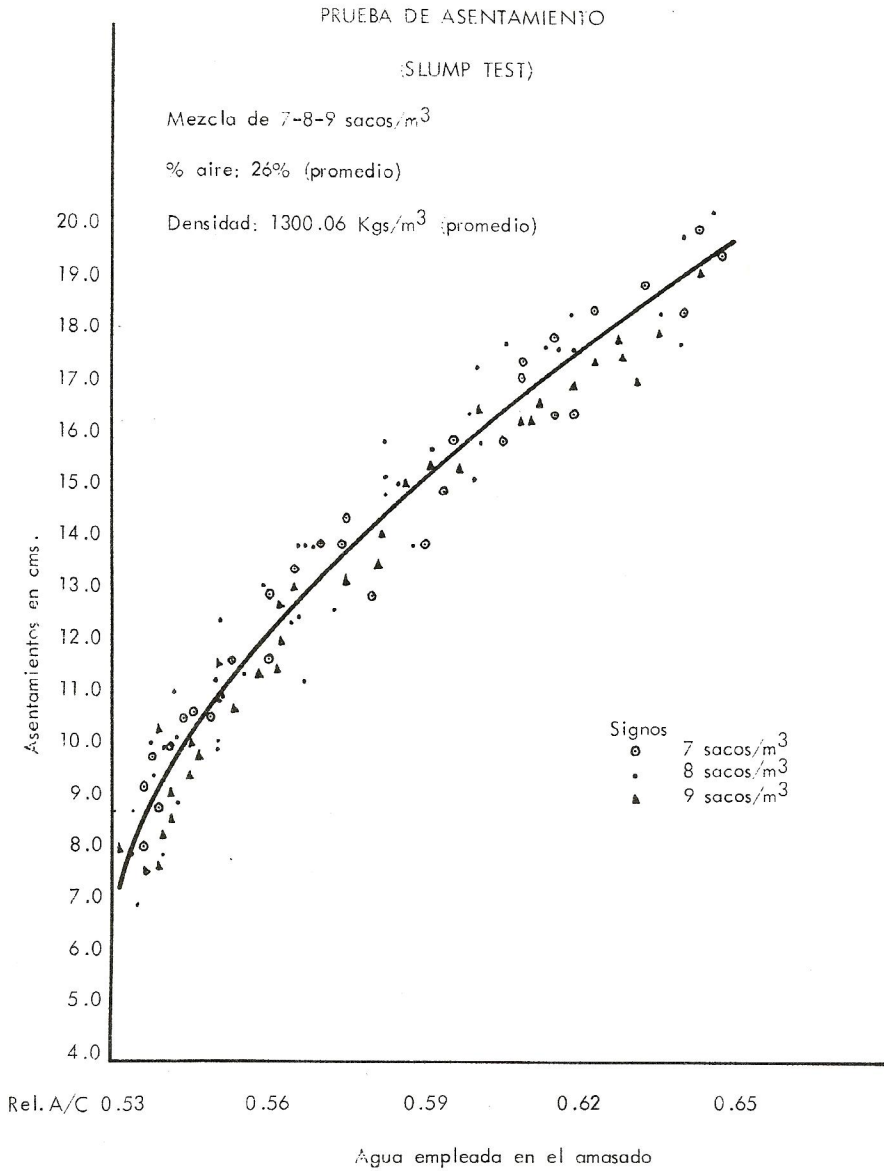
Antes de iniciar la descripción de cada uno de los ensayos realizados, se hace notar que el concreto liviano no puede ser apisonado con varilla de acero No. 5 como se acostumbra en concreto normal, debido a que la varilla deja la huella al sacarla de la masa fresca. En consecuencia el concreto liviano ensayado fue compactado por medio de un apisonador de madera (mazo) de 2.54 cm x 7.60 cm de sección y 60 cm de largo. El número de golpes se normalizó a 15 veces y las capas apisonadas fueron 3.

1.- Prueba de Asentamiento (Slum Test)

La prueba de asentamiento se realizó conforme Norma ASTM C-143 con la modificación del compactado.

La Prueba de Asentamiento tiene la ventaja de su gran sencillez, tanto en lo que se refiere a los instrumentos empleados como a su realización, esta ventaja la hace la más frecuente en nuestro medio, sobre todo en las obras, donde la comprobación de la cantidad empleada en el amasado tiene importancia para asegurar la uniformidad de fabricación y disminuir la tendencia de hacer mezclas demasiado fluidas. Algunos detalles pueden influir en los resultados de esta prueba, y el más importante es el compactado, esto obliga a observar estrictamente lo prescrito en las normas.

Procedimiento seguido en el Laboratorio:



Del Amasado:

- 1.- Se colocó arena pómez y $\frac{4}{5}$ del agua estimada.
- 2.- Se mezcló durante 5 minutos, para que el agregado absorbiera agua.
- 3.- Se agregó inductor de aire y $\frac{1}{5}$ del agua estimada. (Tiempo de mezcla: 2 minutos para que se generen las burbujas de aire).
- 4.- Se agregó el cemento (tiempo de mezcla: 3 minutos).
- 5.- La fluidez deseada fue obteniéndose al agregarse distintas cantidades de agua.

Del Ensayo:

Se realizó después de esperar 2 minutos de haber agregado agua adicional.

- 1.- Llenado del molde hasta $\frac{1}{3}$ de su volumen.
- 2.- Apisonado en 15 golpes en forma de espiral.
- 3.- Retirar verticalmente el molde en 15 segundos.
- 4.- Medir el descenso en centímetros.

Resultados: Ver gráfico No. 13

Discusión:

En este gráfico puede observarse que inicialmente la mezcla produce asentamientos rápidos con poco incremento de agua (Rel. A/C: 0.53 a 0.54) para luego tomar una forma más uniforme.

Este comportamiento puede explicarse de la manera siguiente:

Cuando las mezclas están inicialmente secas (A/C 0.53),

el concreto se comporta como un material granular que se sostiene al hacer el ensayo de asentamiento por la cohesión que ocasiona la película de agua entre las partículas; para este estado el desarrollo de burbujas es muy lento. Conforme se adiciona el agua, el % de aire atrapado se incrementa rápidamente (Rel A/C 0.53 a 0.55) y junto con el contenido de agua contribuye a plastificar la mezcla. En la porción recta del gráfico rel. A/C-asentamiento el contenido de aire permanece prácticamente constante y la mayor fluidez es una función proporcional de la cantidad de agua (A/C 0.55 a 0.65).

Al incrementar el asentamiento arriba de 20 cm (Rel. A/C 0.65) para un cambio unitario de asentamiento se requiere más agua que para la porción anterior de la curva. La prueba ya no registra sensiblemente cambios con el aumento del agua.

En todo caso es conveniente apuntar que las mezclas de concreto liviano llegan a su grado óptimo de homogenización y cohesión y de allí cuando el asentamiento es de 10 cm en adelante el asentamiento es proporcional a la cantidad de agua hasta el límite de asentamiento de 20 cm pasado el cual ya se rebasan los límites prácticos de uso del concreto por ser muy fluido y ya la prueba deja de ser sensible.

En el capítulo de descripción de ensayos, se hizo una relación de los diferentes tipos de asentamientos que pueden ocurrir para concreto en general, según la forma de producirse (Asentamiento Verdadero, asentamiento por corte y escurrimiento total); en concreto liviano con inclusor de aire, ocurren asentamientos de tipo verdadero, dadas las características de gran cohesión que presenta y cuando el contenido de agua es

excesivo se llega al escurrimiento total.

2.- Prueba de Penetración

La prueba de penetración puede decirse que es una variación de la norma A.S.T.M. C-360-63 y sigue los lineamientos de la Norma DIN 1048 parte D.

El equipo de prueba para este ensayo fue el siguiente:

- 1.- Penetrómetro compuesto de una varilla de 80 cm de largo y con 0.95 cm de diámetro, la cual tiene en uno de sus extremos un cilindro de metal de 10 cm de (radio) diámetro y 15 cm del largo con un fondo semiesférico. Su peso total es de 3 kg.
- 2.- Un marco que sirve de guía a la varilla del penetrómetro.

El procedimiento de ensayo fue el siguiente:

El concreto fresco fue colocado en molde cilíndrico de 24 cm de diámetro y 20 cm de altura en una sola capa, la cual no fue compactada, considerándose que el ensayo puede hacerse sobre las carretillas transportadores del concreto en una fundición dada y estas no pueden ser apisonadas. El concreto fue enrasado cuidadosamente por medio de una regla de metal, después se colocó el aparato de penetración, elevando el penetrómetro a una distancia de 7.6 cm para dejarlo caer sobre la superficie de concreto. La lectura de penetración se efectuó cuando el aparato llegó a estabilizarse y consistió en leer una pequeña escala acoplada a la varilla del penetrómetro.

El valor numérico expresado en cm puede ser llamado "medida de penetración".

Resultados. Ver gráfico No. 14

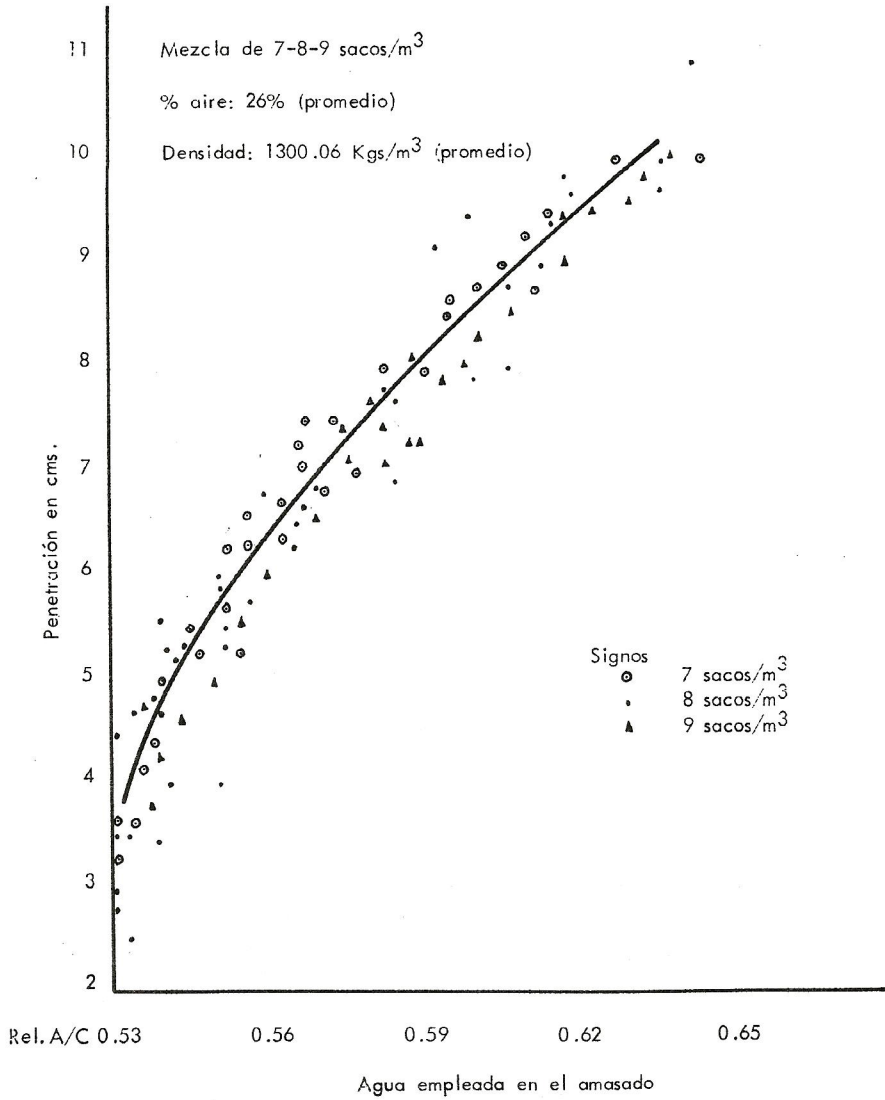
El gráfico obtenido para pruebas de penetración señala un comportamiento similar a la prueba de asentamiento; en el sentido de que la penetración es más sensible en el inicio del ensayo (Rel. A/C. 0.53 a 0.55) pero no porque la prueba señalada sea más apropiada para mezclas secas, sino porque en esta etapa la generación de aire todavía está en proceso de desarrollo. Para la relación A/C 0.56 a 0.62 la prueba se uniformiza y casi se puede decir que se hace proporcional. Es sin embargo útil apuntar que la prueba de penetración podría ser adecuada para mezclas secas, cuando el peso del cilindro se aumentara (La norma DIN señala un peso de 15 kg) pero entonces dejaría de ser adaptable para las condiciones de concreto liviano que nos ocupa.

En conclusión podemos apuntar que el ensayo de Penetración da resultados acordes con los diversos contenidos de agua que posea una mezcla que ha sido normalizada para usarse en obra, la facilidad del ensayo y lo simple del aparato hacen de este ensayo, una prueba ideal en cualquier control de obra.

3.- Ensayo de Ecurrimiento del concreto

Considerando que el concreto liviano viene a ser una mezcla: Cemento-Arena-Agua-Atrapador de Aire, puede decirse que cae bajo la denominación de mortero y por lo tanto el ensayo de Ecurrimiento se hizo de acuerdo con Norma ASTM C-230-65T en cuanto al equipo empleado y según norma ASTM C-124-66 en lo que se refiera a procedimiento. La Norma ASTM C-230 señala el equipo para hacer la prueba de Ecurrimiento en mortero y consiste de los siguientes apa-

PRUEBA DE PENETRACION



ratos:

- 1.- Mesa de Escurrimiento con platillo de bronce de 25.4 cm (10") de diámetro con altura de caída de 1.27 cm ($\frac{1}{2}$ ") cono truncado de 10.2 cm (4") de diámetro en su base inferior, 7.0 cm ($2\frac{3}{4}$ ") de diámetro en su base superior y 5.1 cm de altura.
- 2.- Apisonador de material no absorbente de 1.27 cm x 2.54 cm de sección recta y 15.2 cm de longitud.
- 3.- Espátula o cuchara de albañil, pequeña.
- 4.- Cronómetro y calibrador.

Procedimiento

- 1.- Se centra cuidadosamente el cono sobre el platillo previamente humedecido.
- 2.- Se coloca el concreto en el molde hasta llenarlo.
- 3.- Se apisona 15 veces consecutivas en toda la superficie.
- 4.- Se enrasa con la reglilla, al nivel superior del molde y se limpia el concreto que haya caído al exterior.
- 5.- Se quita el molde levantándolo verticalmente y de manera uniforme.
- 6.- Mediante la manivela se dan 15 golpes en 15 segundos (altura caída: 1.27 cm).
- 7.- El incremento del promedio de tres diámetros medidos a 120° sobre la superficie final ocupada por el concreto después de la operación y expresado como porcentaje del diámetro interior de la base del cono de prueba, indica el escurrimiento alcanzado.

Resultados. Ver gráfico No. 15

Discusión

El ensayo de Esgurrimiento se adapta mejor a mezclas que oscilan entre medianamente plástica y muy húmedas. Por el tipo de ensayo nos puede señalar el grado de cohesividad que puede tener una mezcla y además la facilidad de resbalar sobre una superficie lisa y metálica.

El concreto liviano es esencialmente cohesivo, máxime cuando el inclusor de aire se ha desarrollado completamente, es por ello que a pesar de haber llegado a límites de mezclas fluidas, no se logró obtener un porcentaje de 100, lo que demuestra la cohesión de las partículas aún para estas consistencias muy fluidas.

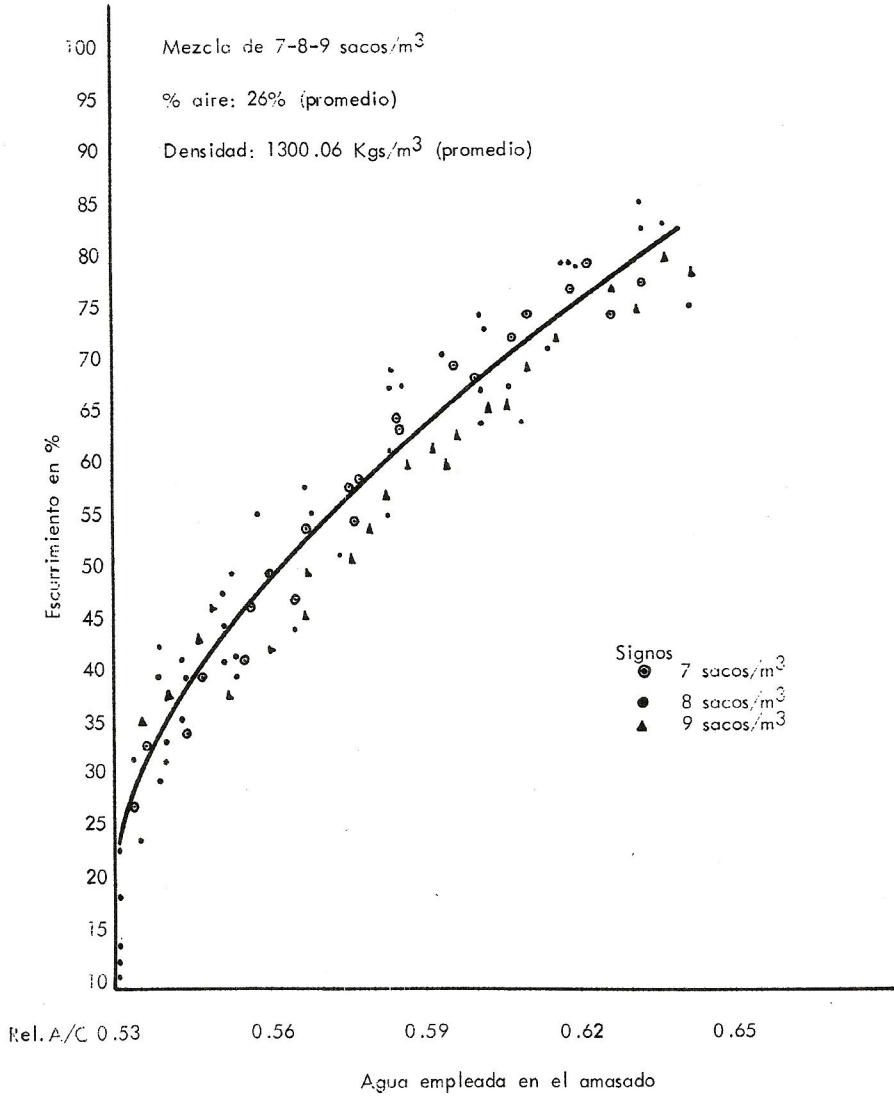
El comportamiento de la curva en la gráfica del ensayo de Esgurrimiento corrobora una vez más lo dicho para los ensayos anteriores. El concreto liviano se desarrolla plenamente cuando la cantidad de agua es suficiente para el desarrollo completo del inclusor de aire. Esto sucede para relaciones Agua/Cemento de 0.55 en adelante.

La prueba de esgurrimiento es apta para concreto liviano y nos señala así mismo un incremento proporcional al contenido de agua que la hace útil en el control de cualquier fundición dada.

4.- Prueba de Remoldeo

Esta prueba es aproximadamente similar a la que indican las Normas Austríacas ONORM B2303 y puede ser considerada como una combinación de la prueba de re

PRUEBA DE ESCURRIMIENTO



moldeo original presentada por Powers y la prueba de remoldeo de Norma Británica BS 1881.

El aparato usado consiste esencialmente en un recipiente cilíndrico de 24 cm de diámetro y 20 cm de altura, fijado fuertemente a una mesa de escurrimiento. Dentro del recipiente se coloca un molde truncado similar al empleado en la prueba de asentamiento.

El procedimiento de prueba fue el siguiente:

- 1.- El cono de asentamiento es llenado en tres capas sucesivas de la mezcla representativa, apisonando cada una en 15 golpes con apisonador de madera.
- 2.- Se remueve el cono dejando la porción moldeada de la mezcla dentro del cilindro.
- 3.- Con la manivela de la mesa de fluidez, el sistema es elevado a un ritmo de un golpe por segundo, finalizando el ensayo cuando la mezcla de concreto ha quedado remoldeada en el cilindro.
- 4.- El ensayo consiste en consecuencia, en observar cuantos golpes son necesarios dar, para transformar la forma del cono en la forma cilíndrica.

La consistencia medida de esta manera, está caracterizada por el trabajo requerido para remoldear el concreto fresco.

La expresión numérica puede expresarse como se indicó en el capítulo sobre ensayos de trabajabilidad del concreto en general, pero en el presente estudio la Medida de Remoldeo se expresó por el número de gol-

pes (segundos) requeridos para remoldear el concreto.

Es lógico suponer que un mayor número de golpes indica mezclas menos trabajables que mezclas que sólo necesitan un número pequeño de golpes.

Resultados: Ver gráfico No. 16

Discusión

La prueba de remoldeo en general es apropiada para mezclas secas y de moderada plasticidad, y expresa un efecto combinado de compactabilidad y capacidad de la mezcla para una deformación plástica.

El método en sí, requiere mucho cuidado para su correcto desarrollo, debido a la compactación inicial del concreto dentro del cono, la forma adoptada por éste al ser moldeado y la aplicación sistemática de los golpes.

La gráfica obtenida nos indica la relación que puede obtenerse para diferentes contenidos de agua, se nota que para mezclas muy secas (Rel A/C 0.53), es necesario un número muy grande de golpes para remoldear la muestra y para mezclas plásticas (Rel A/C 0.53), el número de golpes se reduce rápidamente. La relación remoldeo-A/C no es proporcional y para Rel. A/C 0.60 (mezclas fluidas) el número de golpes para remoldear se mantiene constante. La prueba tiene mayor sensibilidad entre valores de A/C de 0.54 a 0.59, y se considera más compleja que las anteriores.

De todas maneras, el ensayo realizado nos indica la gran capacidad de remoldeo de las mezclas de concreto liviano cuando estas se encuentran con una consis-

tencia adecuada ($A/C : 0.55$ en adelante) y cuando el inductor de aire se ha desarrollado plenamente.

5.- Prueba de Factor de Compactación

Este ensayo fue realizado con equipo hecho en nuestro laboratorio y para la mezcla en estudio, se ensayó por tres veces consecutivas, observándose lo siguiente:

Para contenidos de agua bajos, el concreto no fluye por el primer molde aún golpeándolo fuertemente; para contenidos de agua medios, el concreto fluye de los moldes superior e intermedio, pero es necesario golpearlos varias veces para que esto suceda, y para contenidos de agua altos, el concreto fluye solo, pero con alguna dificultad.

Este resultado podría indicar aparentemente una falta de trabajabilidad en las mezclas, comparadas con las de concreto normal, sin embargo, se hace notar que el concreto liviano es de baja densidad y de una gran cohesión y que el equipo tal como se usa para concreto normal no es adecuado para concreto liviano.

COMPARACION DEL ESTUDIO REALIZADO

Las consideraciones de carácter general obtenidas del estudio realizado son las siguientes:

- 1o. Los primeros tres métodos de medida de consistencia, son adecuados para registrar la mayor o menor fluidez de la mezcla al variar el contenido de agua, entre los límites adecuados (Relación A/C 0.55 a 0.65).
- 2o. Los concretos livianos son muy trabajables, (fácilmente transportables y manipulables), y se compactan con

muy poco esfuerzo, aún las mezclas secas. En este sentido la determinación del esfuerzo en compactar los o la resistencia a deformarlos no adquiere la misma importancia que para el concreto normal.

Los resultados de los métodos ensayados para medir el esfuerzo de remoldeo y el factor de compactación, confirman lo anterior, y no se consideran adecuados para uso en concreto liviano por carecer de sensibilidad adecuada, además de no ser necesario la determinación dada la gran facilidad de manipuleo ya indicada.

Para concreto normal si son adecuados estos métodos y se usan especialmente para mezclas secas donde fallan los métodos basados en el escurrimiento o asentamiento.

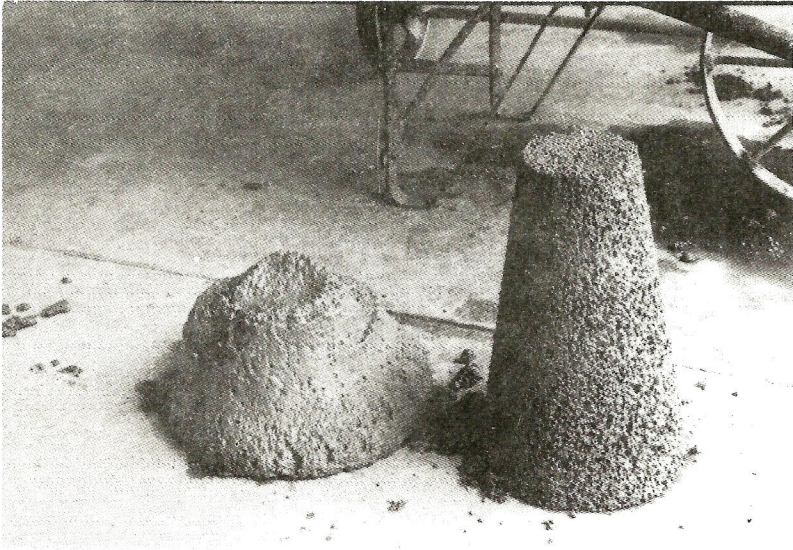
Conclusión

- 1.- Las mezclas de concreto liviano tal como se demostró en los ensayos de remoldeo y compactación son bastante más plásticas, cohesivas y trabajables que la mejor mezcla de concreto normal, por lo tanto, su grado de trabajabilidad es excelente.
- 2.- Las pruebas de asentamiento, escurrimiento y penetración son útiles para observar la influencia del agua en las mezclas y pueden ser usadas para control en obra o laboratorio.
- 3.- Las pruebas de remoldeo y factor de compactación son útiles con más propiedad, para medir las características de trabajabilidad (del punto de vista de esfuerzo de compactación o de moldeabilidad) de cualquier mezcla de concreto normal, pero para concreto liviano sólo sirven para corroborar lo indicado al principio de este estudio y que copiado literalmente dice:

"El hecho de usar un agregado cuyo máximo tamaño de partículas es de 6.35 mm, indica que el concreto estudiado es en sí: un mortero; y si a esto agregamos que se emplea un inclusor de aire, estaremos en presencia de un material que de por sí es ampliamente trabajable".

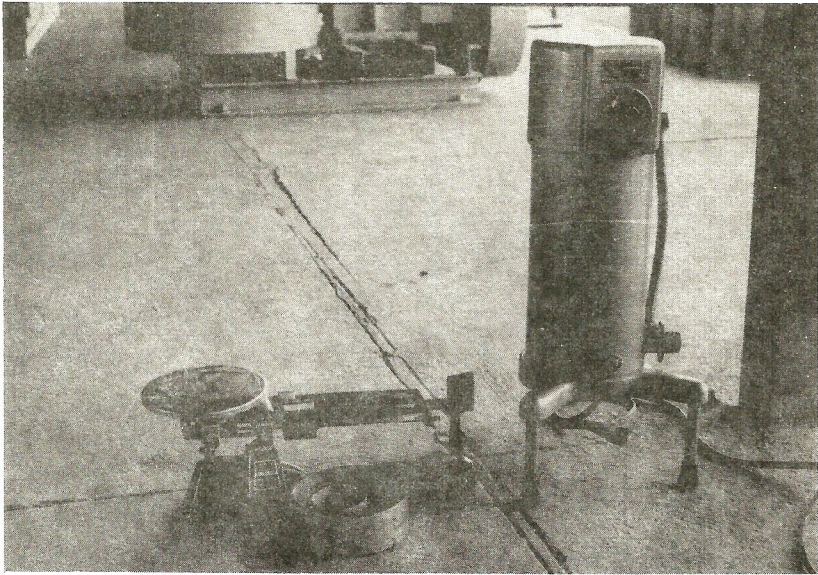
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES G E N E R A L E S

- 1o. Los estudios realizados sobre las características mecánicas del concreto liviano demuestran su alto valor potencial para usos estructurales, es conveniente entonces seguir realizando estudios, esta vez, utilizando materiales de diferentes bancos de la República.
- 2o. El concreto liviano estudiado racionalmente puede ser empleado posteriormente en la construcción, principalmente de viviendas, escuelas, centros de salud, etcétera, dado lo económico del agregado componente, su fácil manejo y colocación.
- 3o. En el Centro de Investigaciones de Ingeniería se prosigue el estudio de esta clase de concretos, pero para su mayor desarrollo se necesita del concurso decidido de las instituciones estatales de Obras Públicas y de las Asociaciones de Constructores de Viviendas, contratistas de la Construcción y demás sectores interesados, a quienes se hace un llamado para colaborar en estas investigaciones que beneficiarán a la construcción en general y al país.

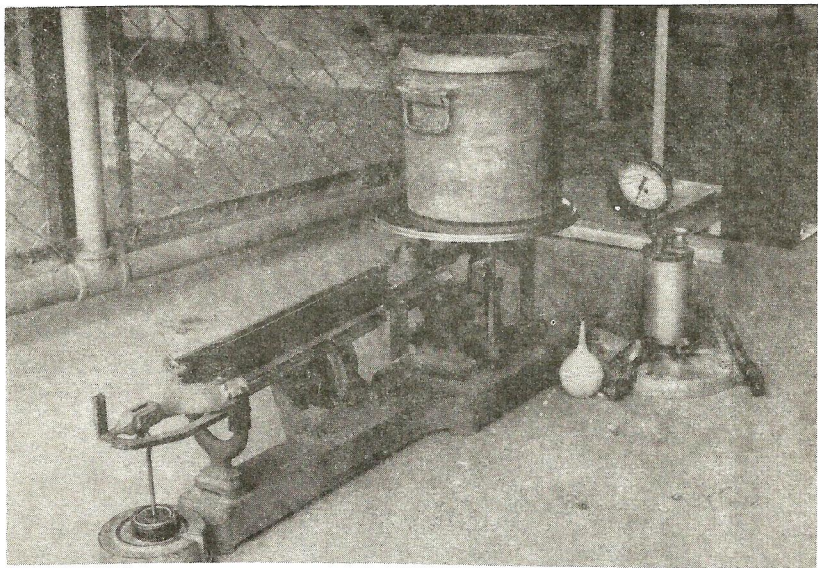


Fotografía 1.—Comparación entre mezclas de concreto liviano:

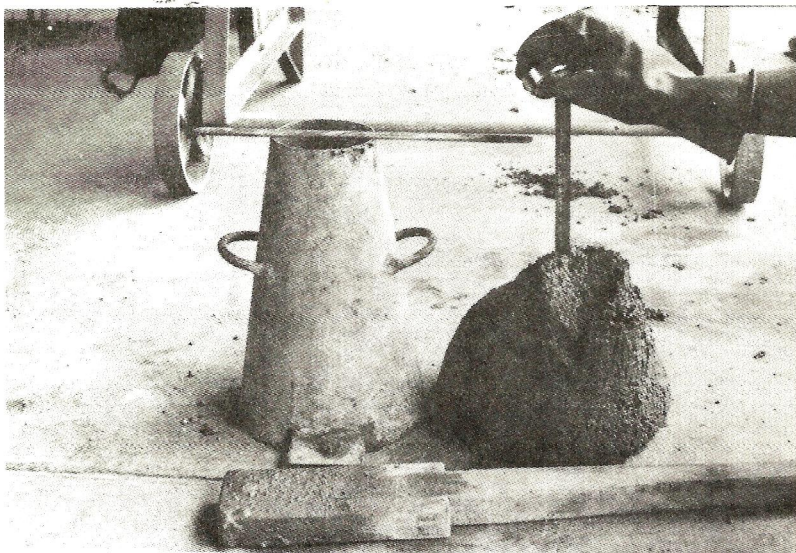
- a) Con inclusor de aire.
- b) Sin inclusor de aire.



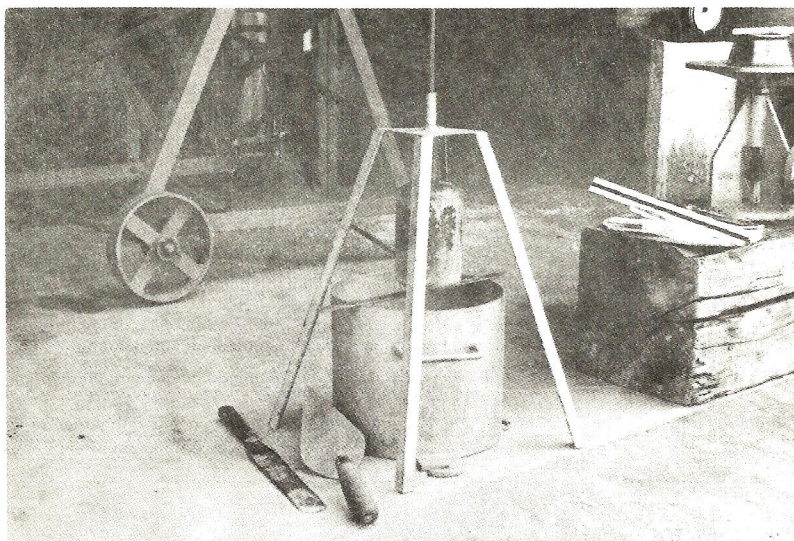
Fotografía 2.—Equipo para ensayo de humedad contenida en agregado.



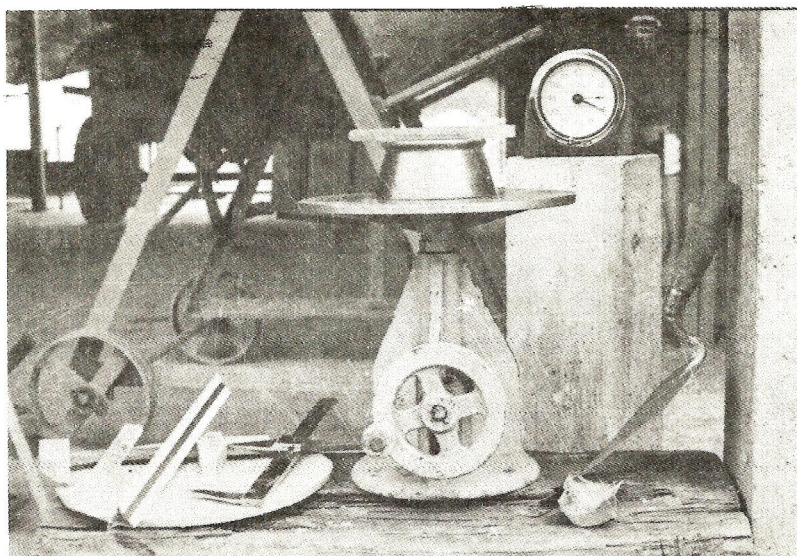
Fotografía 2-a.—Equipo para ensayo de Peso Unitario y % de Aire.



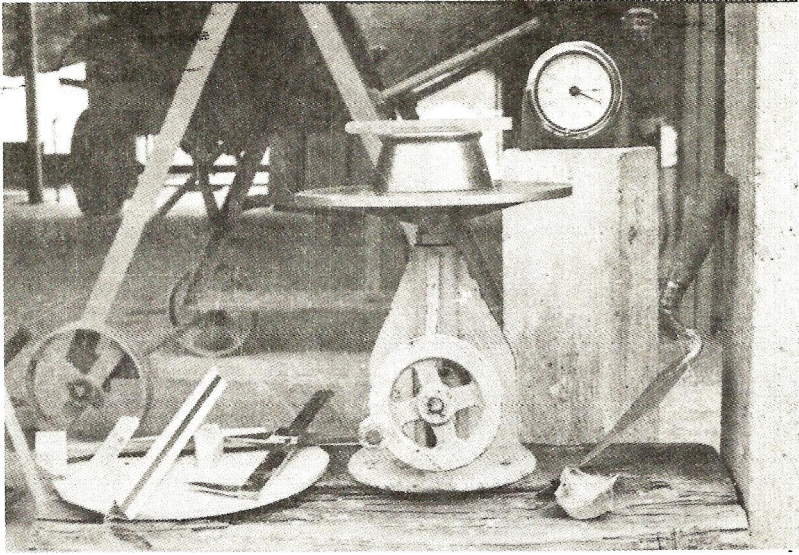
Fotografía 3.—Ensayo de Asentamiento.



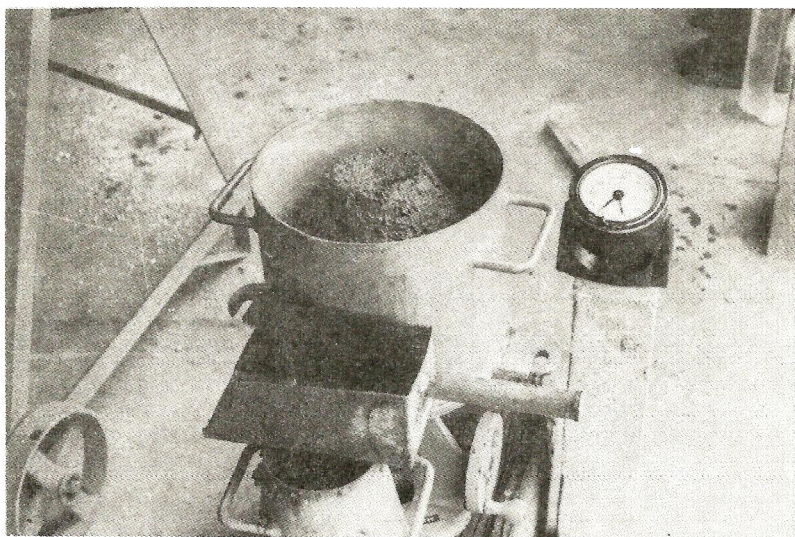
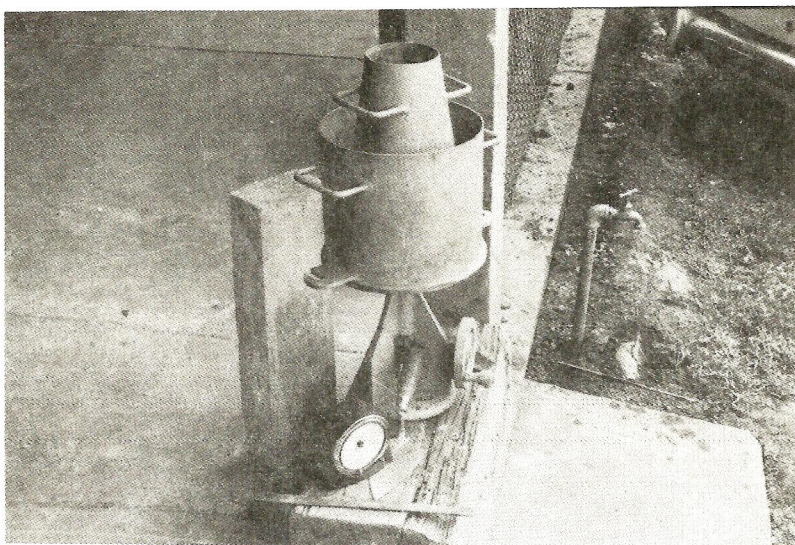
Fotografía 3-a.—Ensayo de Penetración.



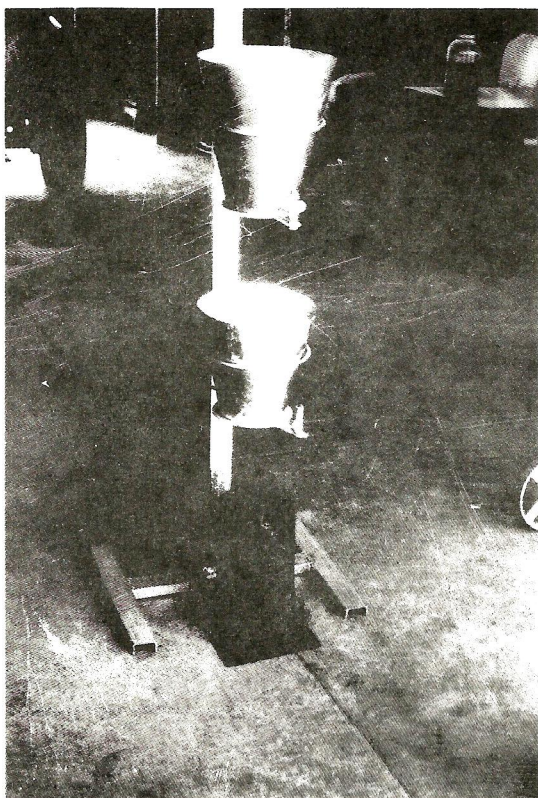
Fotografía 4.—Ensayo de Escurrimiento.



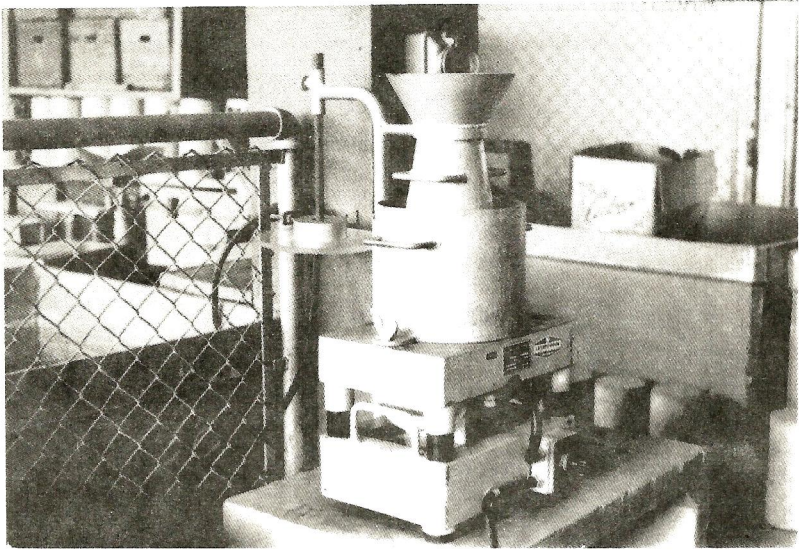
Fotografía 4.—Ensayo de Escurrimiento.



Fotografía 5.—Ensayo de Remoldeo.



Fotografía 6.—Equipo para prueba de factor compactante.



Fotografía 7.—Equipo de Remoldeo Vibratorio.

BIBLIOGRAFIA

1. SAAD, ANTONIO MIGUEL. TRATADO DE CONSTRUCCION, TOMO I. Propiedades de los Materiales Aglomerantes: Fabricación, Aplicación y Usos. Compañía Editorial Continental S. A. Cuarta Reimpresión en Español. México, D.F. 1965.
2. MURDOCK, L.J., ELABORACION DEL CONCRETO Y SUS APLICACIONES. Compañía Continental S. A. Primera Edición en Español. México, D.F., Marzo de 1964.
3. GRAF, OTTO. HORMIGON DE GAS, HORMIGON DE ESPUMA, HORMIGON LIVIANO DE CAL. Ediciones Librería del Colegio. Buenos Aires, 1951.
4. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. INSTRUCTIVO PARA CONCRETO. México, 1960.
5. SHORT, ANDREW y KINNIBURGH, WILLIAM CONCRETO LIGERO. Cálculo, fabricación, diseño y aplicaciones. Editorial Limusa-Wiley, S. A. México, 1967.
6. MORAL, FERNANDO. HORMIGON ARMADO. Compañía Editorial Continental S. A., México, D. F., Marzo 1955.
7. TROXELL, GEORGE EARL y DAVIS, HARMER E. COMPOSITION AND PROPERTIES OF CONCRETE. McGraw-Hill Book Company, Inc. Junio de 1956.

8. POPOVICS, S. CONCRETE CONSISTENCY AND ITS PREDICTION. Pag. 235 de Bulletin Rilem. New Series No. 31, Julio 1966.
9. DE LA PEÑA, C. LA DOCILIDAD DEL HORMIGON Y SU MEDIDA. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Madrid, Marzo 1951.
10. ACI STANDARDS, 1963
Publicación de American Concrete Institute.
11. CONCRETE AND MINERAL AGREGATES, PART. 10 DE 1966 - ASTM STANDARDS.
12. PROPOSED REVISION ACI 613-A-59. RECOMMENDED PRACTICE FOR SELECTING PROPORTIONS FOR STRUCTURAL LIGHT WEIGHT CONCRETE.
Journal of the American Concrete Institute, Enero de 1968.
13. MENA FERRER, MANUEL. ESTUDIO DE CONCRETOS LIGEROS. Revista Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, a.c. Vol. 6 No. 32, - Mayo, Junio 1968. Pág. 15.

*

* * *

(f) Aníbal Rodas Mazariegos.

Vo. Bo.

(f) Ing. Emilio Beltranena Matheu
A s e s o r.

Vo. Bo.

(f) Ing. Emilio Beltranena Matheu
Director del Centro de
Investigaciones de Ingeniería.

IMPRÍMASE:

(f) Ing. Amando Vides Tobar
D e c a n o.

Se terminó de imprimir el día 5 de mayo de 1969,
en El Centro de Producción de Materiales de la
Universidad de San Carlos de Guatemala. Una
tirada de 100 ejemplares.

Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica.

Libro No. 104

Orden No. 244

Centro de Producción de Materiales

Universidad de San Carlos de Guatemala