

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



Concreto Liviano Empleando Vidrio Volcánico como Agregado

T E S I S

Para Optar el Título de Ingeniero Civil

JORGE ALEJANDRO CARRERA ANBRADE

L I M A - P E R U - 1 9 8 0

I N D I C E

I)	INTRODUCCION	
	I.1.- Objetivo	Pág. 1
	I.2.- Diferentes Tipos de Concretos Livianos	Pág. 4
II)	PROPIEDADES DEL VIDRIO VOLCANICO	
	II.1.- Propiedades	Pág. 18
III)	DISEÑO DE MEZCLA	
	III.1.- Método de Diseño	Pág. 27
	III.2.- Agua de Mezclado	Pág. 30
	III.3.- Procedimiento de Mez clado	Pág. 31
IV)	ENSAYOS DE LABORATORIO	
	IV.1.- Resistencia Mecánica	Pág. 33
	IV.2.- Resistencia al Calor	Pág. 66
	IV.3.- Conductividad Térmica	Pág. 77
V)	CONCLUSIONES	
	V.1.- Conclusiones	Pág. 92
	V.2.- Recomendaciones	Pág. 94
	BIBLIOGRAFIA	Pág. 96

C A P I T U L O I

=====

I.0 INTRODUCCION:

I.1) OBJETIVO:

I.1.1) Introducción al concreto ligero.

El tipo usual de concreto normal para estructuras de Ingeniería, fabricado con grava o piedra triturada y arena, pesa entre 2250 y 2400 Kg/m³ y tiene una resistencia que podemos denominar de rango estructural.

Existen sin embargo, muchos tipos de estructuras, tales como casas, apartamentos, escuelas y edificios para oficinas en los cuales no se requiere un concreto de resistencia estructural y, por lo tanto, un concreto menos denso puede dar la resistencia necesaria y al mismo tiempo dar un aislamiento térmico adicional con la ventaja de un menor peso estructural.

Se sabe bien que el aire es un buen aislan-

te del calor, y que la propiedad aislante de un material aumenta cuanto mayor sea su porosidad, esto es, a medida que disminuye su peso unitario.

Con el concreto ligero, la disminución en peso, comparado con concreto normal, se obtiene incorporando vacíos o espacios con aire por alguno - de los siguientes métodos:

- Omitiendo el agregado fino y produciendo por lo tanto, lo que se conoce con el nombre de "con - creto sin finos".
- Usando un agregado que tenga estructura celular; se produce de esta manera un concreto con células de aire dentro de las partículas del agregado.
- Formando burbujas de gas o de aire en la mezcla, ya sea por medio de una acción química o por la adición de espuma o de un agente espumoso.

Experiencias anteriores dan los siguientes intervalos de densidades para concretos ligeros:

TIPO DE CONCRETO LIGERO	DENSIDAD (Kg/m ³)
Sin finos (agregado normal)	1600 - 1900
Sin finos (agregado ligero)	700 - 1300
Clínker	1000 - 1600
Escoria espumosa	950 - 1600
Concreciones de ceniza de combustibles pulverizado	950 - 1800
Arcilla o pizarra expandida	800 - 1800
Pómez	700 - 1100
Vermiculita exfoliada	500 - 950
Perlita expandida	400 - 950
Aserrín	650 - 1300
Celular o aireado	400 - 1600

La densidad del concreto depende del tipo y granulometría del agregado que se use, de las proporciones de la mezcla y de la compactación. Los concretos más ligeros son apropiados solamente para elementos que no soporten cargas, por ejemplo divisiones, plantillas en azoteas, aislamiento de tuberías principales, construcción de bodegas refrigeradas, y para otros empleos en los cuales el aislamiento sea importante y la resistencia tenga un ca-

rácter secundario.

Cuando se usan en exteriores, todos los tipos de concreto ligero, ya sea sin finos, con agregado ligero ó aireado, usualmente se recubren para hacer la estructura a prueba de intemperismo. Los mejores tipos de acabados son aquéllos con textura rugosa; las irregularidades de la superficie dan una mejor resistencia a la penetración del agua a través de las finas grietas que puedan desarrollarse, y por lo tanto proporcionan una mejor resistencia a las heladas; al mismo tiempo, ocultan cualquier agrietamiento fino, y por lo tanto, no afean la apariencia.

I.1.2) Propiedades de los concretos ligeros.

Densidad y resistencia:

Generalmente, mientras menor es la densidad del concreto, menor es su resistencia, pero ésta puede aumentarse por procedimientos especiales de curado. Los valores de la resistencia a la compresión de concretos ligeros relacionados con la densidad, sugieren la posibilidad de una re

lación parabólica, pero existe una dispersión muy amplia debido al número de variables involucradas. Normalmente no se requiere una gran resistencia, y existen muchos productos de concreto ligero con densidades de 1000 Kg/m^3 , que además de ser adecuados para muros divisorios, son satisfactorios también para muros de carga.

Conductividad térmica:

Conductividad Térmica se define como la velocidad de un flujo calorífico, bajo condiciones estacionarias, a través de un área unitaria y por una pendiente de temperatura unitaria en dirección perpendicular a una superficie isotérmica. El valor de la resistividad térmica es el inverso al valor de la conductividad térmica.

Probablemente la mayor ventaja de los concretos ligeros es su elevado aislamiento térmico. La estructura celular de los agregados ligeros es determinante en el alto aislamiento térmico del concreto. El aire encerrado en las celdas del agregado, es el principal obstáculo que encuentra el calor para atravesar los concretos ligeros.

Un aumento en el contenido de humedad del concreto ligero puede reducir la resistividad térmica considerablemente, debido a que el agua ocupa los vacíos del agregado. Por lo tanto, los acabados, los alerones, las repisas y otras formas de protección contra la humedad son factores importantes para el aislamiento térmico de un edificio.

Contracción por Secado y Movimiento de Humedad:

Los concretos ligeros usualmente tienen una contracción inicial por secado mayor y un movimiento de humedad mayor también que en concretos normales.

Una estructura sana y libre de agrietamientos, sólo puede obtenerse mediante el uso de productos sanos, y a no ser que se sepa que el material es satisfactorio, debe hacerse siempre un ensayo para determinar el movimiento de humedad. Con productos que tengan un movimiento de humedad (norma BS 2028:1953 unidades de concreto precolado) de menos de 0.6% debe tenerse mucho cuidado.

Afortunadamente, el valor menor puede obtenerse con la mayoría de los concretos de agregado ligero cuando se hacen y se curan en condiciones de fábrica, y se toman las precauciones en el almacenamiento, mano de obra en el lugar y detalles.

I.1.3) Finalidad de la Tesis:

En esta Tesis se han investigado las diferentes propiedades, así como el comportamiento que tiene un concreto ligero en el que se emplea como agregado el vidrio volcánico.

Hasta la fecha no habían antecedentes sobre el uso de este tipo de vidrio volcánico en la fabricación de concretos ligeros. Aunque se debe hacer la siguiente salvedad: el concreto ligero con perlita ya se conocía; pero la perlita es un tipo de vidrio volcánico distinto al usado en este estudio, pues, como se verá más adelante, presentan diferentes fracturamientos, rugosidades y densidades. Esto hace que los concretos ligeros fabricados con perlita y los fabricados con vidrio volcánico tengan distintas propiedades.

Las principales propiedades del concreto ligero con vidrio volcánico, que fueron estudiadas en esta Tesis han sido: peso específico, resistencia al fuego, resistividad térmica y resistencia a la compresión entre otras.

Mediante éstas investigaciones se ha querido conocer un nuevo tipo de concreto ligero; y dar así las pautas necesarias para ser usado en obras de ingeniería en el Perú.

1.2) DIFERENTES TIPOS DE CONCRETOS LIVIANOS

1.2.1) Clínker.

Los agregados de clínker se han usado por muchos años. Han producidos buenos resultados si el clínker es el residuo de hornos con alta temperatura de combustión y contienen poco material combustible. El clínker que cumple con la norma BS - 1165; 1957 "Agregados de Clínker para Concreto Simple y Precolado", produce concretos ligeros de buena calidad.

Algunos tipos de carbón sin quemar o parcialmente quemados que se encuentran algunas veces en el clínker, pueden producir un agregado que si está al estado húmedo se expande al estar en contacto con el cemento. Por ésta razón, la norma Británica limita la cantidad de material combustible de un clínker adecuado a un 10% para propósitos generales, a pesar de que admite hasta 25% para superficies interiores no expuestas a condiciones húmedas. El clínker contiene generalmente sulfuros, y por ésta razón el clínker no debe quedar a menos de 2.5 centímetros del acero estructural.

I.2.2) Escoria Espumosa.

La escoria espumosa, producida mediante enfriamiento rápido de la escoria líquida de altos - hornos de hierro, con una cantidad limitada de agua tiene una estructura porosa similar a la piedra pómez. Los requisitos para este material se establecen en la norma BS 877: 1939, en la cual se dan límites para las impurezas pesadas y volátiles, y para el sulfato disponible.

Los agregados de escoria espumosa se proporcionan en dos tamaños: gruesos desde 1.30 cm. - hasta 0.90 cm. y finos de 0.90 cm. ó menos. La relación agregado/cemento que debe usarse varía de 6 a 10. Un bloque de concreto de escoria espumosa - tiene menos aislamiento térmico que uno de concreto de clinker.

I.2.3) Arcilla Expandida.

Cuando se someten algunos tipos de arcilla a altas temperaturas se vuelven plásticas, y debido a la formación de gases dentro del material, se expanden rápidamente. Este proceso produce una ma

sa en forma de panal compuesta por pequeñas celdas separadas por paredes de material vitrificado. Algunas pizarras también tienen ésta propiedad de expansión a altas temperaturas.

Después del enfriamiento, generalmente se pulverizan y se gradúan los agregados. Se han obtenido partículas esféricas con una superficie vidriosa y un interior poroso, a partir de un lodo arcilloso tratado en un horno rotatorio.

Los bloques y losas de concreto con agregados de arcilla expandida proporcionan buen aislamiento, y los valores del movimiento de humedad y contracción por secado son semejantes a los que se obtienen con concreto hecho de escoria espumosa. Los concretos con agregados de arcilla expandida con una densidad de 1600 a 1750 Kg/m³ se usan cada vez más para miembros estructurales de concreto armado. Pues alcanzan resistencias hasta de 210 Kg/m². (Ref.)

I.2.4) Concreciones de Ceniza de Combustible Pulverizado.

La ceniza que se forma en las estaciones

de energía eléctrica que quema combustible pulverizado se usa para formar un agregado ligero. Las cenizas se forman en partículas que se concretan a altas temperaturas. Se pueden obtener en tres tamaños: Los tamaños grandes y medianos consisten de partículas esféricas duras: el tamaño fino es una arena que se produce por medio de trituración.

Se puede usar concreto completamente compactado con una densidad de 1600 a 1750 Kg/m³ para miembros estructurales de concreto armado; tienen un aislamiento térmico 50% mejor que el del concreto normal, y aún se puede mejorar este aislamiento usando una mezcla sin finos. Los bloques o losas hechos con este agregado alcanzan valores de contracción por secado y movimiento de humedad similares a los obtenidos con concreto de arcilla expandida.

I.2.5) Vermiculita Exfoliada:

La vermiculita es un mineral semejante a la mica. Cuando se calienta se expande rápidamente y se obtiene un producto muy ligero con una den

rácter secundario.

Cuando se usan en exteriores, todos los tipos de concreto ligero, ya sea sin finos, con agregado ligero o aireado, usualmente se recubren para hacer la estructura a prueba de intemperismo. Los mejores tipos de acabados son aquellos con textura rugosa; las irregularidades de la superficie dan una mejor resistencia a la penetración del agua a través de las finas grietas que puedan desarrollarse, y por lo tanto proporcionan una mejor resistencia a las heladas; al mismo tiempo, ocultan cualquier agrietamiento fino, y por lo tanto, no afean la apariencia.

I.1.2) Propiedades de los concretos ligeros.

Densidad y resistencia:

Generalmente, mientras menor es la densidad de un concreto, menor es su resistencia, pero esta puede aumentarse por procedimientos especiales de curado. Los valores de la resistencia a la compresión de concretos ligeros relacionados con la densidad, sugieren la posibilidad de una re

sidad del orden de 65 a 190 Kg/m³. Se usa extensamente en enyesados y como relleno en cavidades para dar un aislamiento térmico mayor, pero también se usa en acabados de concreto ligero con fines de aislamiento, y en forma de bloques y losas.

I.2.6) Perlita Expandida.

La perlita es una roca volcánica vidriosa, de fractura concoidal. Cuando se calienta rápidamente hasta el punto de fusión incipiente se expande para formar un material celular muy ligero con una densidad de 90 a 240 Kg/m³. Se ha usado principalmente en enyesados, acabados y en bloques divisorios.

I.2.7) Aserrín.

Se ha usado el aserrín como agregado ligero, pero necesita usualmente algún tratamiento previo, pues de otra manera los taninos, carbohidratos solubles y los aceites aromáticos que contiene pueden afectar la hidratación del cemento. Uno de éstos métodos es el tratamiento con agua hirviendo a la que se le agrega un poco de sulfato ferrico.

El mayor problema, sin embargo, es el gran movimiento de humedad que ocurre en los bloques de concreto de aserrín al cambiar las condiciones de humedad, lo cual no puede eliminarse con tratamiento previo. Generalmente el concreto de aserrín sólo es adecuado para usos interiores.

I.2.8) Concretos Aireados.

En un concreto aireado se forman burbujas de gas o de aire en el mortero plástico, y la estructura porosa permanece después de que el material ha fraguado.

Los dos métodos principales de hacer concreto aireado son, la producción de gas en la mezcla por medio de una acción química, o la adición de espuma o de una sustancia que produzca espuma en la mezcla. El agente espumoso es generalmente alguna forma de proteína hidrolizada, un agente sintético de superficie activa, una resina de jabón, o una combinación de ellos.

El agente más común es el polvo de aluminio finamente molido; la cantidad que se usa es -

alrededor de 0.2% del cemento. Cuando se mezcla con cemento húmedo se forman burbujas de hidrógeno, y toda la masa se hincha formando, una vez endurecida, un material con estructura celular. En lugar de aluminio se puede usar peróxido de hidrógeno y un polvo blanqueador; en este caso se producen burbujas de oxígeno.

Cuando se use concreto con espuma, el agente espumoso se puede añadir al agua de mezclado, y al mezclar ambos vigorosamente con cemento y arena en un tipo adecuado de mezcladora, las burbujas de aire quedan atrapadas en el concreto.

Este método es adecuado para los tipos más pesados de concretos aireados (1300 a 1450). Para los concretos aireados más ligeros, se produce la espuma previamente batiendo el agente espumoso en agua, ya sea agitando vigorosamente o inyectando aire, después se mezcla con una pasta de cemento con agregados finos o sin ellos.

1.2.9) Concretos sin Finos.

El concreto sin finos se compone de cemen-

to y agregado grueso sóloamente; se omite la arena para obtener vacío en el interior de la masa. El agregado grueso puede ser arena o piedra triturada, escoria de altos hornos o cualquiera de los agregados ligeros antes mencionados, siempre que se gradúen entre la malla de 19 mm. y la de 9.5mm. y que no más del 5% pase la última malla. El concreto que se produce de esta manera tiene un peso entre dos tercios y tres cuartos del peso de un concreto denso hecho con el mismo agregado. Las proporciones usuales de las mezclas son aproximadamente 0.33 m^3 de grava normal por saco de cemento, ó 0.25 m^3 de agregado ligero por saco de cemento. Si se usa piedra triturada se debe aumentar el 5% de cemento.

Es muy importante mantener la relación - agua/cemento correcta, para que cada partícula - de agregado esté cubierta con pasta de cemento. Si se usa mucha agua, la pasta de cemento se separará de la piedra; si se usa muy poca agua, algunas partículas del agregado no estarán cubiertas y se producirá un concreto desmenuzable.

Para hacer una estructura de concretos -

sin finos a prueba de intemperismo, es necesario a cabarla con un revestimiento externo y para esto - resulta muy conveniente una superficie de textura abierta. El acabado puede ser una mezcla de cemenu to Portland, cal y arena; una proporción 1:2:9 es apropiada normalmente, pero en superficies expuestas se puede usar una mezcla más rica 1:1:6, para lograr mayor resistencia a las heladas y cuando se tienen condiciones de humedad continua. El aislamiento térmico de concretos sin finos es aproximadamente 25% mayor que el que se obtiene con concreutos normales del mismo agregado.

C A P I T U L O I I

=====

II.0) PROPIEDADES DEL VIDRIO VOLCANICO:

II.1) Propiedades.

El vidrio volcánico para poder ser usado en la elaboración de concretos ligeros, debe sufrir un proceso que cambie su constitución original. Este proceso, consiste en colocar el vidrio volcánico en hornos y someterlo a altas temperaturas, el material así tratado, aumenta su volumen considerablemente, cambia de color, se convierte de color blanco, cambia de textura y de forma, y si bien se expande, también se resquebrajan los trozos grandes que se colocan en el horno. De ésta manera, el vidrio volcánico, que naturalmente era una roca vidriosa de color marrón y verde, de un peso unitario de aproximadamente $2,500 \text{ Kg/m}^3$, con una dureza según la escala de Mohs, entre 3 y 4; se transforma en una roca extremadamente liviana y de estructura celular.

Para obtener mayor información acerca de la composición de este vidrio volcánico, se solicitó a algunos laboratorios de esta Universidad su cooperación; la cual se tradujo en la información que se da en las hojas siguientes.

El tamaño del agregado ligero está en proporción directa al tamaño de los pedazos de vidrio volcánico que se colocan en el horno. En este trabajo se usaron dos tamaños de agregado ligero, los más convenientes para fabricar concreto. Uno de ellos será llamado de aquí en adelante "agregado grueso" y el otro tamaño "agregado fino".

Un análisis espectrográfico cualitativo, cuyos resultados se muestran en la página anterior, fué realizado con dos muestras del vidrio volcánico en su estado natural (una muestra verde y la otra marrón).

Según el Análisis Microscópico realizado paralelamente, las muestras llevadas a los laboratorios no son de Perlita como inicialmente se pensó, sino de vidrio volcánico. Por lo tanto, en el resultado del análisis espectrográfico cualitativo,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

AV. TUPAC AMARU S/N. APARTADO 1301 TELEFONO 81-1070 - CABLES: UNI - LIMA PERU

LABORATORIO N. 8

Resultado del estudio solicitado por el Ing. Enrique Rívva López el 15 de Febrero de 1979.

Número de muestras : Dos

Descripción:

Macroscópica: Roca de aspecto vidrioso, bordes cortantes, muy fracturada. 1 ejemplar: marrón, 2 ejemplar verde, ambas transparentes.

Microscópica: Vidrio Volcánico, ambas muestras presentan el mismo aspecto. No son perlitas.

Nota: Las perlitas presentan un sistema de fracturamiento por el cual los fragmentos son redondos. Son en realidad variedades de vidrio volcánico, pero con dicha propiedad. El vidrio volcánico normal, no presenta ese sistema de fracturamiento, sencillamente se astilla.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

AV. TUPAC AMARU S/N. APARTADO 1301 TELEFONO 81-1070 - CABLES: UNI - LIMA PERU

LABORATORIOS N. 22 - ESPECTROMETRIA

RESULTADO DEL ANÁLISIS ESPECTROGRÁFICO CUALITATIVO DE DOS MUESTRAS MINERALES.

REFERENCIA.- MEMO, DEL DPTO DE GEOLOGÍA SOLICITANDO ATENCIÓN AL SR. ALEJANDRO CARRERA.- (TESIS " CONCRETOS LIVIANOS USANDO PERLITA COMO AGREGADO" ASESOR ING. ENRIQUE - RIVVA LÓPEZ.

MUESTRA	ELEMENTOS MAYORES	ELEMENTOS MENORES	ELEMENTOS TRAZA	VESTIGIOS
PERLITA VERDE	SI, AL.	NA.	CA.CU.ZN.B. FE.IN.K TI.AG.CA.NI. MG.PB.MN.	BE.
PERLITA MARRÓN	SI. AL.	NA.	CA.CU.GA.B. FE.IN.MN.K. TI.AG. MG.PB.	ZN. NI. BE.

LIMA, 19 DE MARZO DE 1979...

el nombre de las muestras debe ser "Vidrio Volcánico Verde" y "Vidrio Volcánico Marrón".

Los resultados del análisis espectrográfico cualitativo deben interpretarse de la siguiente manera:

Elementos Mayores.. Más del 10% de la muestra de la roca está formado por éstos elementos.

Elementos Menores.. Entre el 10% y el 1% del vidrio está formado por estos elementos.

Elementos Traza ... Entre el 1% y el 0.01% del vidrio está formado por estos elementos.

Vestigios Menos del 0.01% del vidrio contiene estos elementos.

Características del Agregado Ligeró:1.) Granulometría:

a.- Tamaño Máximo del Agregado Grueso. Se dan los resultados de dos ensayos hechos con el agregado grueso.

Peso inicial del Primer ensayo: 1421 gr.

Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado Retenido
3/4"	17	1.20	1.20
1/2"	120	8.44	9.64
3/8"	283	19.92	29.56
1/4"	548	38.56	68.12
Fondo	455	32.02	100.14

T.M.A.: 1/2"

Peso Inicial de agregado del segundo ensayo:
500 gr.

Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado Retenido
3/4"	---	---	---
1/2"	32.00	6.40	6.40
3/8"	71.00	14.20	20.60
1/4"	166	33.20	53.80
Fondo	231	46.2	100.00

T.M.A.: 1/2"

b.- Módulo de Fineza del Agregado Fino: Se dan los resultados promedio de los ensayos hechos al agregado fino.

$W_1 = 200$ gr.

Tamiz No	Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado Retenido
4	9.50	4.75	4.75
8	71.00	35.50	40.25
16	84.50	42.25	82.50
30	23.30	11.65	94.15

50	6.50	3.25	97.40
100	1.00	00.50	97.90
Fondo	4.00	2.00	99.90

Módulo de Fineza : 4.14

W₂ = 200 gr.

Tamiz Nº	Peso Retenido	Retenido	% Acumulado Retenido
4	2.00	1.00	1.00
8	41.00	20.50	21.50
16	80.00	40.00	61.50
30	39.00	19.50	81.00
50	23.00	11.50	92.50
100	10.00	5.00	97.50
Fondo	6.00	3.00	100.50

Módulo de Fineza : 3.55

c.- Contenido de Humedad:

Los diferentes ensayos para la determinación del contenido de humedad del agregado ligero, dieron resultados inferiores al 0.9%; y fué con ésta humedad con la que se hicieron las distintas mezclas.

d.- Porcentaje de Absorción:

El porcentaje de absorción promedio del vidrio volcánico usado - fino y grueso - es de 50%.

e.- Peso Específico:

Debido al poco peso del agregado de vidrio volcánico, fué imposible determinar exactamente su peso específico, pues el agregado flotaba en el agua ($P = 1 \text{ gr/cc}$) y también en gasolina ($P = 0.73 \text{ gr/cc}$), Las aproximaciones hechas nos sugieren un peso específico de 0.60 gr/cc .

f.- Peso Suelto Seco:

Se determinaron los pesos sueltos secos del agregado fino y del agregado grueso.

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Peso de recipiente	2,862 gr.	6,786 gr.
Peso Recipiente + Material	3,611 gr.	9,014 gr.
Peso material	749	2,228 gr.
Volúmen ocupado	0.10 p ³	0.333 p ³
Peso suelto	264.47 Kg/m ³	236.01 Kg/m ³

Comparativamente se realizó el mismo ensayo en arena de "La Molina" y en piedra chancada de - 1/2".

	ARENA	PIEDRA
Peso recipiente	2862 gr	6786 gr.
Peso recipiente + material	7666 gr.	20342 gr.
Peso material	4804 gr.	13556 gr.
Volúmen ocupado	0.10 p ³	0.333 p ³
Peso suelto seco	1696.30	1436 Kg/m ³

Si relacionamos el peso suelto seco del agregado ligero con el del agregado normal, tendremos:

P.s.s. agregado fino = 6.41
P.s.s. arena

NE7CLA

P.s.s. agregado grueso = 6.08
P.s.s. piedra

C A P I T U L O I I I

=====

III.0) DISEÑO DE MEZCLA

III.1) Método de Diseño

Debido a que el material empleado en este trabajo no había sido usado antes para la fabricación de Concreto Ligeró, toda la información sobre el diseño de concretos con agregados ligeros de otro tipo ha sido sólomente referencial.

Luego de unas pruebas, se pudo ver que el método para el diseño de concreto ligero según la Norma ACI-613 A-59, no daba resultados satisfactorios con el vidrio volcánico. Pues el concreto que resultaba siguiendo esta Norma de diseño era muy frágil y de poca trabajabilidad.

Por lo expuesto anteriormente, es que se hizo la dosificación inicial del vidrio volcánico en base a una dosificación en volúmen hecha para concretos normales. O sea, se usaron los mis -

mos volúmenes de agregado grueso y agregado fino (ligero) que los que se usan de piedra y arena respectivamente, en una mezcla de concreto. Las dosificaciones iniciales en volumen para concretos densos que se usaron fueron:

1 : 2 : 3

1 : 2 : 4

La cantidad de agua echada en una tanda de concreto normal no interesa pues, se sabe que el agregado ligero tiene además de diferente humedad, distintos grados de absorción, superficie específica total.

Como la dosificación en el Laboratorio se hace en peso, debemos cambiar la dosificación en volumen anterior, a dosificación en peso.

Agregado Fino:

Peso Unitario Suelto Seco	264 Kg/m ³
Contenido de Humedad	0.90 %

Agregado Grueso:

Peso Unitario Suelto Seco	236 Kg/m ³
Contenido de Humedad	0.90%

Peso unitario suelto húmedo "fino":

$$264 \times 1.009 = 266 \text{ Kg/m}^3$$

Peso unitario suelto húmedo "grueso":

$$236 \times 1.009 = 238 \text{ Kg/m}^3$$

Peso unitario suelto húmedo "fino":

$$266 / 35 = 7.60 \text{ Kg/pié}^3$$

Peso unitario suelto húmedo "grueso":

$$238 / 35 = 6.80 \text{ Kg/pié}^3$$

1 x 42.5 = 42.5	42.5/42.5 = 1
2 x 7.6 = 15.2	15.2/42.5 = 0.36
3 x 6.8 = 20.4	20.4/42.5 = 0.48

1 x 42.5 = 42.5	42.5/42.5 = 1
2 x 7.6 = 15.2	15.2/42.5 = 0.36
4 x 6.8 = 27.20	27.2/42.5 = 0.64

1 2 3 en volúmen equivale a 1: 0.36 0.48
en peso.

1 2 4 en volúmen equivale a 1: 0.36 0.64
en peso.

Donde el primer valor (1), representa una unidad en peso de cemento a mezclarse por tanda. El segundo valor (0.36), representa que parte del peso de cemento a mezclarse debe corresponder a agregado fino (ligero). El tercer valor (0.48 ó 0.64), representa que parte del peso de cemento a mezclarse debe corresponder a agregado grueso (ligero), por tanda.

Posteriormente a estos dos diseños, y en base a sus resultados se hicieron nuevos diseños para mejorar la calidad del concreto, los cuales son detallados en el Item IV.1

III.2) Agua de Mezclado:

Conforme aumenta la cantidad de vidrio volcánico en la mezcla, aumentará la relación agua/cemento: dado que una mayor cantidad de vidrio volcánico absorberá una mayor cantidad de agua y presentará una mayor superficie específica total.

La relación agua/agregado, se forma al dividir el peso del agua total de la mezcla entre la suma de los pesos de agregado fino y grueso. Con-

forme aumenta la cantidad de vidrio volcánico en la mezcla, ésta relación disminuye, dado que, no se podrá aumentar la misma cantidad de agua que de vidrio volcánico.

III.3) Procedimiento de Mezclado:

Para fabricar este concreto ligero, se deberán seguir algunos pasos en el mezclado:

En mezcladoras de eje vertical o inclinado, es importante hechar primero el agregado grueso y luego el fino. Esto se debe hacer para que el agregado fino no se quede adherido al fondo de la mezcladora, como ocurre con este material.

Una vez echado el agregado grueso y fino en la mezcladora, debe mezclarse durante un mínimo de 3 minutos este agregado con aproximadamente las $3/4$ partes del agua total requerida, antes de vaciar el cemento. Este paso es imprescindible, pues permite que el agregado se sature en ese lapso y posteriormente no quite agua para que se forme la pasta de cemento.

Una vez echado el cemento y el resto del agua en

en la mezcladora, se debe proseguir el mezclado durante 3 minutos más. Si en la mezcla aparecieron bolas o grumos, significará que la mezcla está seca, y se procederá a añadir agua en pequeñas cantidades hasta conseguir una mezcla fluida.

C A P I T U L O I V
=====

IV.1) RESISTENCIAS MECANICAS

En éste acápite se investigó el comportamiento del concreto ligero con vidrio volcánico ante la acción de fuerzas externas.

Así pues, se dan a continuación las correspondientes resistencias a la compresión del concreto ligero, para diferentes diseños de mezcla; así como datos sobre el comportamiento del concreto fresco.

Para determinar la resistencia a la compresión del concreto ligero, se usaron probetas cilíndricas de 12" de altura y 6" de diámetro. Las cuales fueron llenadas con el concreto en tres capas, aplicando 25 golpes a cada capa con un fierro liso de 3/8", y luego enrasada la superficie para obtener una superficie plana.

El ensayo para determinar la trabajabilidad del concreto fresco del cono de Abrans, no es conveniente para el concreto ligero. Debido principal -

mente, al poco peso del agregado; lo cual se traduce en un reducido SLUMP, aún cuando una mezcla sea trabajable.

Los diseños de mezcla que se ensayaron y que se muestran a continuación, están ordenados cronológicamente, vale decir que los diseños se han escrito en el orden en que fueron hechos.

IV.1.1) DISEÑO " A "

=====

1) CONDICIONES

Como se ha explicado en el ítem III.1 este diseño se realizó a modo de tanteo, para observar su comportamiento y compararlo con el del concreto normal. Debido a lo anterior se sometió a las probetas a un curado por inmersión en agua de tan sólo 7 días de duración.

El agua añadida a la mezcla se determinó en el instante mismo de la mezcla, tratando de obtener una mezcla pareja y fluída.

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1	: 0.36	0.48
Relación agua/cemento	1.10		
Relación agua/agregado	1.34		

3) RESULTADOS

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
5.985	15 x30	7,700	177	43.50
5.942	15.1x30	6,800	179	38.00
6.01	15 x30	7,600	177	42.95
6.065	15.1x30	7,300	179	40.80

4) CONCLUSIONES

La resistencia a la compresión promedio luego de 7 días de curado por inmersión fué de 41.30 Kg/cm².

La gran cantidad de vacíos y la poca trabajabilidad de la mezcla se debieron a una notable escasez de material fino.

Las condiciones que presentó la mezcla no permitieron realizar ningún ensayo del concreto fresco.

IV.1.2) DISEÑO " B "

=====

1) CONDICIONES

Al igual que el diseño "A", éste diseño se ha realizado a manera de tanteo, con miras a obtener el o los diseños más favorables para producir un buen concreto ligero.

2) PROPORCIONES

Proporción en peso	1 : 0.36	0.64
Relación agua/cemento	1.00	
Relación agua/agregado	1.02	

3) RESULTADOS

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
5.329	15.1x30	3,500	179	19.55
5.408	15.1x30	3,600	179	20.11
5.210	15 x30	4,500	177	25.42
5.875	15.2x30	4,400	181	23.91

4) CONCLUSIONES

La resistencia promedio a la compresión luego de 7 días de curado por inmersión en agua fué de 22.25 Kg/cm².

Aún cuando la cantidad de agua echada en la mezcla es mayor que la normal, ésta fué poco trabajable. Presentando una gran cantidad de vacíos.

IV.1.3) DISEÑO " C "

=====

1) CONDICIONES

Con las conclusiones obtenidas en los Diseños "A" y "B", se resolvió disminuir la proporción de agregado ligero con respecto al cemento, pero igualando la cantidad en peso de agregado fino y agregado grueso. Estas probetas serán curadas durante 7 días por inmersión en agua. Pero sólo se romperán al octavo día, dejando las probetas al aire libre durante 24 horas para que se sequen. Esto se hace porque en los dos diseños anteriores se notó que las probetas estaban muy mojadas luego de 3 horas de sacarlas del agua y ser sometidas a la rotura.

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1 : 0.20	0.20
Relación agua/cemento	0.489	
Relación agua/agregado	1.223	

3) RESULTADOS

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.475	15.2x30	27,400	181	151.40
7.432	15 x30	21,700	177	122.60
7.447	15.2x30	25,900	181	143.10
7.694	15.3x30	27,400	184	148.90

4) CONCLUSIONES

- La resistencia promedio en compresión luego de 7 días de curado por inmersión en agua y un día de secado al aire libre, fué de 141.50 Kg/cm².
- La mezcla se presentó bien trabajable y homogénea.
- La pérdida de peso de las probetas, luego de 1 día de secado al aire libre fué del orden del 1%.

IV.1.4) DISEÑO " D "
 =====

1) CONDICIONES

Tantear con diseños donde el contenido de agregado ligero sea menor al dado en el diseño "C", significaría aumentar más el contenido de cemento, con lo cual el diseño sería antieconómico y poco práctico. En base a lo anterior, se decidió tantear con diseños donde la cantidad de cemento sea menor.

El agua para este diseño se aumentará ligeramente, teniendo en cuenta el aumento de agregado ligero, el cual absorbe bastante agua.

Esta cantidad de agua se añadirá hasta que la mezcla sea bien trabajable y homogénea.

Las condiciones de curado y rotura de las probetas serán las mismas que en el diseño "C".

2) PROPORCION

Proporción en peso	1 : 0.25	0.25
Relación agua/cemento	0.50	
Relación agua/agregado	1.00	

3) RESULTADOS

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.41	15.1x30	20,000	179	111.70
7.422	15.1x30	20,400	179	113.07
7.846	15.5x30	22,300	189	112.70

4) CONCLUSIONES

- La resistencia promedio en compresión luego de 7 días de curado y uno de secado fué de 112.80 Kg/cm².
- La mezcla se mostró bien trabajable.
- Conforme vaya aumentándose la cantidad de agregado ligero con respecto al cemento, irá aumentando también, aunque en otra proporción, la relación agua/cemento.

IV.1.5) DISEÑO " E "

=====

1) CONDICIONES

Para este diseño, aumentamos nuevamente la cantidad de agregado fino y grueso, ambos en proporciones iguales.

Debido a que los 2 diseños tanteados anteriormente se mostraron trabajables; se concluye que las proporciones que se están usando son adecuadas. Para este diseño se harán probetas para romper a los 7 días y a los 28 días. Nuevamente la cantidad de agua a mezclarse se decide en el momento mismo de la mezcla en base a resultados anteriores y a la fluidez que muestre la mezcla.

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1	: 0.30	0.30
Relación agua/cemento	0.615		
Relación agua/agregado	1.025		

3) RESULTADOS

A los 7 días de curado:

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.125	15.1x30	14,200	179	79.33
7.080	15 x30	14,400	177	81.36
7.210	15.2x30	15,200	181	83.98

A los 28 días de curado:

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.530	15.4x30	21,000	186	112.90
7.075	15.1x30	18,000	179	100.56
7.130	15.1x30	18,800	179	105.03

4) CONCLUSIONES

- La resistencia promedio en compresión luego de 7 días de curado y uno de secado fué de 81.56 Kg/cm².
- La resistencia promedio en compresión luego de 28 días de curado y uno de secado fué de 106.16 Kg/cm².
- La resistencia aumentó 24.60 Kg/cm² (30%) de bido al mayor tiempo de curado.
- Se notó que las probetas no llegan a secarse totalmente después de 24 horas al aire libre. Por consiguiente, se puede preveer que la resistencia del concreto será mayor a la determinada, una vez que seque totalmente; principalmente porque el agregado será menos débil cuando esté bien seco.

IV.1.6) DISEÑO " F "

=====

1) CONDICIONES

Aumentamos nuevamente la proporción de agregado ligero con respecto al cemento. Manteniendo siempre la igualdad de agregado fino y grueso.

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1	: 0.35	0.35
Relación agua/cemento	0.60		
Relación agua/agregado	0.857		

3) RESULTADOS

A los 7 días de curado:

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
6.760	15.1x30	9,850	179	55.03
6.81	15.2x30	11,000	181	60.77
6.72	15 x30	9,200	177	51.98

A los 28 días de curado:

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.215	15.4x30	16,400	186	88.17
6.840	15.2x30	12,600	181	69.61
6.925	15.2x30	13,000	181	71.82

4) CONCLUSIONES

La resistencia promedio en compresión luego de 7 días de curado y uno de secado fué de 55.93 Kg/cm².

La resistencia promedio en compresión luego de 28 días de curado y uno de secado fué de 76.53 Kg/cm².

La resistencia obtenida a los 7 días de curado aumentó 20.60 Kg/cm² (37%), al ser curado el concreto durante 28 días.

Debe notarse que en este diseño, el agua añadida a la mezcla, no fué la suficiente pa

ra lograr una mezcla trabajable y fluida. Por lo tanto, el acomodo del concreto fresco en las probetas no se pudo realizar eficientemente, y luego del desencofrado se observaron vacíos en las probetas.

Todo lo anterior conllevó a la baja resistencia a la compresión de la mezcla.

El diseño "E" tuvo una relación agua/cemento de 0.615, mientras en el diseño actual la relación fué 0.60. Como ya se ha dicho (item IV.1.4) la relación agua cemento debe aumentar conforme aumenta la cantidad de agregado ligero con respecto al cemento. Puede recomendarse una relación agua/cemento de 0.65 - para el presente diseño.

IV.1.7) DISEÑO " G "
 =====

1) CONDICIONES

En esta oportunidad se ha aumentado ligeramente la cantidad de agregado fino con respecto a la de agregado grueso; pues se ha visto la posibilidad de aumentar la resistencia del concreto - de ésta manera. La razón de lo anterior es aumentar la cantidad de finos para llenar así los posibles vacíos en el concreto, esto se justifica si se tiene en cuenta que el módulo de fineness de éste agregado fino es 4.00.

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1. : 0.45	0.40
Relación agua/cemento	0.77	
Relación agua/agregado	0.905	

3) RESULTADOS

A los 7 días de curado:

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
6.45	15.1x30	11,000	179	61.45
6.29	15 x30	10,300	177	58.19
6.37	15 x30	10,500	177	59.32

A los 28 días de curado:

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
6.97	15.2x30	14,400	181	79.56
6.965	15.3x30	13,600	184	73.91
6.915	15.2x30	13,600	181	75.14

4) CONCLUSIONES

- La resistencia promedio a la compresión luego de 7 días de curado fué de 59.65 Kg/cm².
- La resistencia promedio a la compresión luego de 28 días de curado fué de 76.20 Kg/cm².
- El aumento de resistencia debido al tiempo de curado fué de 16.88 Kg/cm² (18.50%).

IV.1.8) DISEÑO " H "

=====

1) CONDICIONES

Para el presente diseño se prepararon un mayor número de probetas, con la idea de determinar - la resistencia en tracción por compresión diametral y la resistencia a la compresión.

Mantenemos la condición de colocar mayor agregado fino que grueso. El agua se determinará en base a las experiencias anteriores y al estado de la mezcla en el momento del batido.

El curado será durante 28 días en agua.

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1 : 0.25	0.20
Relación agua/cemento	0.54	
Relación agua/agregado	1.20	
Factor de compactación	0.846	
Peso Unit. Fresco	1,404	Kg/m ³

3) RESULTADOS

Ensayo en compresión:

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.50	15.2x30	23,000	181	127.07
7.515	15.3x30	24,000	184	130.43
7.46	15.3x30	22,600	184	122.82
7.155	15.1x30	22,200	179	124.02
7.150	15.0x30	22,200	177	125.42
7.20	15.3x30	23,200	184	126.09

Ensayo en tracción por compresión diametral:

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.57	15.3x30.6	9,600	468.18	20.50
7.26	15.1x30.1	9,000	454.51	19.80
7.61	15.4x30.4	11,000	468.16	23.50

7.54	15.3x30.6	14,200	468.18	30.33
7.42	15.3x30.5	9,200	466.65	19.72
7.49	15.3x30.5	10,000	466.65	21.43

4) CONCLUSIONES

La resistencia promedio en compresión luego de 28 días de curado fué de 126.00 Kg/cm².

- ✦ La resistencia promedio en tracción por compresión diametral luego de 28 días de curado fué de 22.54 Kg/cm².

Las probetas aún no se habían secado bien a la hora del ensayo.

Se notó en el ensayo de compresión diametral que las probetas reventaban siempre en un plano vertical que pasaba por el centro de la probeta. La razón de que las probetas reventaban es la fragilidad del agregado.

IV.1.9) DISEÑO " I "
=====

1) CONDICIONES

En este diseño se varía nuevamente la cantidad de agregado ligero, manteniendo el criterio de colocar más agregado fino que agregado grueso. Se sigue curando las probetas de la misma manera que en los casos anteriores. (28 días).

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1 : 0.35	0.30
Relación agua/cemento	0.70	
Relación agua/agregado	1.08	
Peso unitario fresco	1,274 Kg/m ³ .	
Factor de Compactación	0.81	
Contenido de aire	4 %	

3) RESULTADOS

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
6.80	15.1x30	16,800	179	93.85
7.03	15.4x30	15,100	186	81.18
6.60	15.1x30	19,300	179	107.82
6.76	15.2x30	15,800	181	87.29
6.48	15.3x30	16,800	184	91.30

4) CONCLUSIONES

La resistencia promedio a la compresión luego de 28 días de curado fué de 92.30 Kg/cm².

La mezcla se presentó bien trabajable.

IV.1.10) DISEÑO " J "
=====

1) CONDICIONES

Las probetas del diseño I (1:0.35:0.30) se habían dejado secando 24 horas después de sacarlas del agua; aún así, luego de la rotura de las mismas, se observó que el interior de las probetas seguía bastante húmedo. Se analizaron también los interiores de probetas rotas 2 semanas antes, y se pudo ver que la pasta y el agregado del interior aún estaban húmedos. Como ya se ha visto, el agregado ligero de vidrio volcánico se vuelve frágil cuando está húmedo.

Se pensó, que una manera más efectiva de curar este concreto sería inmergir las probetas en agua durante 7 días y, posteriormente sacarlás del agua y dejarlas secando hasta que completasen 28 días de vaceadas, para luego proceder a la rotura de las mismas. Los objetivos de éste método son:

- Permitir a las probetas absorber agua duran

te 7 días a la vez que éstas ganan en resistencia.

- Durante 21 días, el agua absorvida permanece en el interior de la probeta y se vá evaporando poco a poco. Esta humedad interna permitirá a la pasta de cemento ir aumentando su resistencia.
- Contar con el agregado ligero casi seco a la hora de la rotura; así permitió que éste se encuentre, en las mismas condiciones en las que estaría en la práctica.
- Incrementar la resistencia del concreto a los 28 días.

Para medir la eficacia del método anteriormente descrito, el actual diseño " J " tendrá la misma proporción que el diseño " I ".

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1 : 0.35	0.30
Relación agua/cemento	0.70	
Relación agua/agregado	1.08	
Peso unitario fresco	1271 Kg/cm ³ .	

Factor de compactación	0.81
Contenido de aire	4.10 %

3) RESULTADOS

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.140	15.2x30	23,000	181	127.07
6.965	15.1x30	22,600	179	126.25
7.110	15.2x30	21,600	181	119.34

4) CONCLUSIONES

La resistencia promedio a la compresión fué de 124.22 Kg/cm². Este valor nos indica que el mismo diseño de concreto aumenta su resistencia debido a un mejor curado.

La resistencia promedio a la compresión ha aumentado en 31.92 Kg/cm², aproximadamente en un 35%, con el nuevo método de curado utilizado. Los 124.22 Kg/cm², de resistencia a la compresión es un valor más real y

más próximo de aquél que tendrán el concreto en su vida útil.

Luego de rotas las probetas se pudo constatar que el agregado estaba más seco y presentaba una mayor dureza del que presentó en anteriores oportunidades.

IV.1.11) DISEÑO " K "
=====

1) CONDICIONES

Con el objeto de obtener una mayor resistencia a la compresión del diseño anteriormente ensayado, se disminuirá en esta oportunidad la relación agua/cemento, hasta el límite permitido por la trabajabilidad de la mezcla.

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1 : 0.35	0.30
Relación agua/cemento	0.60	
Relación agua/agregado	0.923	
Peso unitario fresco	1,230 Kg/cm ³	
Factor de compactación	0.75	
Contenido de aire	5.50 %	

3) RESULTADOS

Peso de la Pro-beta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.540	15.15x30	28,000	180	155.55
7.610	15.3 x30	28,000	184	152.17
7.465	15.2 x30	28,800	181	159.12

4) CONCLUSIONES

La resistencia promedio a la compresión fué de 155.62 Kg/cm².

Al disminuir la relación agua/cemento de 0.70 a 0.60 en el diseño 1 : 0.35 : 0.30, la resistencia de éste aumentó 31.40 Kg/cm² (25.30%).

IV.1.12) DISEÑO " L "
=====

1) CONDICIONES

Se preparará una mezcla aumentando ligeramente la cantidad de agregado ligero, con respecto a los 3 últimos diseños. Consecuentemente se tendrá que aumentar ligeramente la relación agua/cemento. El sistema de curado será el mismo usado en los últimos diseños.

2) PROPORCIONES

Proporción en Peso	1 : 0.40 : 0.30
Relación agua/cemento	0.625
Relación agua/agregado	0.893
Peso unitario fresco	1220 Kg/m ³
Factor de compactación	0.80
Contenido de aire	6 %

3) RESULTADOS

Peso de la Probeta (Kg)	Dimensiones (cm)	Carga Máxima (Kg)	Sección (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)
7.273	15.15x30	27,600	180	153.33
7.365	15.3 x30	23,000	184	125.00
7.40	15.2 x30	24,100	181	133.15

4) CONCLUSIONES

La resistencia promedio en compresión fué de 138.16 Kg/cm². Esta resistencia es mayor que la alcanzada por otros diseños más ricos en cemento, pero que no fueron curados de la manera apropiada.

La mezcla resultó bastante fluída, debido a la presencia del agregado fino en mayor cantidad que el agregado grueso. Debe adoptarse como buen criterio el diseñar con mayor cantidad de agregado fino que grueso.

R E S U M E N D E R E S U L T A D O S

PROPORCION EN PESO	PROPORCION EN VOLUMEN	W/C	DENSIDAD SECO +	f' 7	f' c ₂₈	SACOS POR m ³	FINEZA PROMEDIO
1:0.20:0.20	1:1.12:1.25	0.489	1,390	141.50		17.70	3.85
1:0.25:0.25	1:1.40:1.56	0.500	1,380	112.80		15.90	3.85
1:0.30:0.30	1:1.68:1.88	0.615	1,329	81.56		13.70	3.85
1:0.30:0.30	1:1.68:1.88	0.615	1,329		106.16	13.70	3.85
1:0.35:0.35	1:1.96:2.19	0.60	1,260	55.93		12.56	3.85
1:0.35:0.35	1:1.96:2.19	0.60	1,270		76.53	12.56	3.85
1:0.45:0.40	1:2.52:2.50	0.77	1,200	59.32		10.36	3.85
1:0.45:0.40	1:2.52:2.50	0.77	1,270		76.20	10.36	3.85
1:0.25:0.20	1:1.40:1.25	0.54	1,350		126.00		3.85
1:0.35:0.30	1:1.96:1.88	0.70	1,230		92.30	12.54	3.85
++ 1:0.35:0.30	1:1.90:1.88	0.70	1,310		124.22	12.54	3.98
++ 1:0.35:0.30	1:1.90:1.88	0.60	1,380		155.62	12.61	3.98
++ 1:0.40:0.30	1:2.16:1.88	0.625	1,350		138.16	12.04	3.98

+ Dado en Kg/m³.

++ Diseños que fueron curados como se indica en el item IV.1.9

IV.2) RESISTENCIA AL CALOR

Para realizar los ensayos de resistencia al calor, se fabricaron probetas cúbicas de 2" de arista; probetas que fueron compactadas en tres capas y con 32 golpes en cada capa.

El concreto fué hecho con una mezcla de cemento y agregado fino. El ensayo fué hecho para tres (3) proporciones distintas de concreto, dichas proporciones (en peso) entre cemento y agregado fino fueron:

1 : 0.80 1 : 1.10 1 : 1.20

El procedimiento para la realización de este ensayo fué el siguiente:

- De cada uno de los tipos de concreto antes mencionados, se fabricaron doce (12) muestras en forma de cubo.
- Tres de las muestras fueron curadas en agua durante 28 días para luego realizar con ellas el ensayo de compresión.
- Las seis (6) muestras restantes fueron igualmente curadas durante 28 días en agua. Al término

IV.2) RESISTENCIA AL CALOR

Para realizar los ensayos de resistencia al calor, se fabricaron probetas cúbicas de 2" de arista; probetas que fueron compactadas en tres capas y con 32 golpes en cada capa.

El concreto fué hecho con una mezcla de cemento y agregado fino. El ensayo fué hecho para tres (3) proporciones distintas de concreto, dichas proporciones (en peso) entre cemento y agregado fino fueron:

1 : 0.80 1 : 1.10 1 : 1.20

El procedimiento para la realización de este ensayo fué el siguiente:

- De cada uno de los tipos de concreto antes mencionados, se fabricaron doce (12) muestras en forma de cubo.
- Tres de las muestras fueron curadas en agua durante 28 días para luego realizar con ellas el ensayo de compresión.
- Las seis (6) muestras restantes fueron igualmente curadas durante 28 días en agua. Al término

del curado - y cuando estaban superficialmente secas - se introdujeron en un horno a una temperatura constante de 700°C durante 30 minutos, además de la hora y media que demoró el horno en llegar a dicha temperatura.

- Estas seis (6) muestras fueron pesadas antes y después del secado en el horno, para determinar el porcentaje de pérdida de peso.
- Luego, las seis muestras que fueron secadas al horno, son sometidas al ensayo de compresión para comparar éste resultado con aquél que resultó con muestras no secadas al horno.

IV.2.1) MUESTRA No 1 : (1.10.80)

=====

Ensayo de Resistencia a la compresión de probetas sin quemar.

SECCION (cm ²)	CARGA (Kg.)	RESISTENCIA
25	4330	173.2
25	3720	148.8
25	3920	156.8 f'c prom. 159.60 Kg/cm ² .

Resultados con las muestras sometidas al calor:

PESO ANTES DEL QUEMADO (gr.)	PESO LUEGO DEL QUEMADO (gr.)	PERDIDA DE PESO (gr.)	% PESO INICIAL PERDIDO	CARGA (Kg.)	RESIS - TENCIA (Kg/cm ²)
128.6	99.1	29.5	22.94 %	930	36.39
131.6	99.4	32.2	24.47 %	940	36.79
132.2	99.8	32.4	24.51 %	880	34.30
134.5	100.5	34.0	25.28 %	860	33.59
132.5	100.5	32	24.15 %	925	36.13
133.2	102	31.2	23.42 %	835	32.61
					34.97 Kg/cm ² .

	<u>ESFUERZO</u>	<u>PORCENTAJE</u>	<u>PERDIDA</u>	<u>% PERDIDA</u>
Concreto Normal	159.60	100	0	0
Concreto Quemado (700°C)	58.67	36.76	100.93	63.24

IV.2.2) MUESTRA Nº 2 : (1:1.10)

=====

Ensayo de Resistencia a la compresión de probetas sin quemar.

SECCION (cm ²)	CARGA (Kg.)	RESISTENCIA
25	3090	123.6
25	3550	142.0
25	3460	138.4 f'c prom. 134.7 Kg/cm ² .

Resultados con las muestras sometidas al calor:

PESO ANTES DEL QUEMADO (gr.)	PESO LUEGO DEL QUEMADO (gr.)	PERDIDA DE PESO (gr.)	% PESO INICIAL PERDIDO	CARGA (Kg.)	RESIS - TENCIA (Kg/cm ²)
150.90	109.7	41.2	27.30 %	1059	41.5
155.1	113.4	41.7	26.88 %	1120	42.7
150.8	111.9	39.8	26.39 %	1140	43.2
152.3	112.00	40.3	26.46 %	1365	51.5
144.6	111.30	33.3	23.03 %	1805	70.9
142.4	109.80	32.6	22.89 %	1640	64.1
					52.31 Kg/cm ² .

	<u>ESFUERZO</u>	<u>PORCENTAJE</u>	<u>PERDIDA</u>	<u>% PERDIDA</u>
Concreto Normal	134.7	100	0	0
Concreto Quemado	52.31	38.83	82.39	61.17

IV.2.3) MUESTRA N^o 3 (1:1.2)

=====

Ensayo de Resistencia a la compresión de probetas sin quemar.

SECCION (cm ²)	CARGA (Kg.)	RESISTENCIA
25	2300	92
25	2400	96
25	2600	104 f'c prom. 97.33 Kg/cm ² .

Resultados con las muestras sometidas al calor.

PESO ANTES DEL QUEMADO (gr.)	PESO LUEGO DEL QUEMADO (gr.)	PERDIDA DE PESO (gr.)	% PESO INICIAL PERDIDO	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
128.6	99.1	29.5	22.94 %	930	36.39
131.6	99.4	32.2	24.47 %	940	36.79
132.2	99.8	32.4	24.51 %	880	34.30
134.5	100.5	34.0	25.28 %	860	33.59
132.5	100.5	32	24.15 %	925	36.13
133.2	102	31.2	23.42 %	835	32.61
					34.97 Kg/cm ² .

	<u>ESFUERZO</u>	<u>PORCENTAJE</u>	<u>PERDIDA</u>	<u>% PERDIDA</u>
Concreto Normal	97.33	100	0	0
Concreto Quemado	34.97	35.93	62.36	64.07

Los resultados anteriores se compararon aquéllos dados en la Referencia (), para concretos normales.

Aquí se realizaron pruebas para determinar la resistencia al calor de 3 tipos de concretos normales distintos, cuyos diseños se muestran seguidamente.

TIPO	I	1: 2.29	3.52/0.68
TIPO	II	1: 2.12	3.28/0.62
TIPO	III	1: 0.91	2.03/0.41

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para los 3 tipos de concretos antes mencionados, dados en la referencia (), son los siguientes;

	<u>RESISTENCIA</u>	<u>PORCENTAJE</u>	<u>PERDIDA</u>	<u>% PERDIDA</u>
<u>TIPO I</u>	188.06	100	0	0
a 700 ^o C	30.35	16	157.71	84
a 600 ^o C	95.47	50.5	92.59	49.5
a 500 ^o C	161.08	85.50	26.98	14.5

	<u>RESISTENCIA</u>	<u>PORCENTAJE</u>	<u>PERDIDA</u>	<u>% PERDIDA</u>
<u>TIPO II</u>	236.64	100	0	0
a 700 Ω C	70.26	29.5	166.38	70.5
a 600 Ω C	113.63	48.0	123.01	52
a 500 Ω C	180.72	70.0	55.92	24
 <u>TIPO III</u>	 375.56	 100	 0	 0
a 700 Ω C	117.66	31	257.9	69
a 600 Ω C	160.22	42.5	215.34	57.5
a 500 Ω C	279.73	74.5	95.93	25.5

CUADRO COMPARATIVO DE PERDIDA DE
RESISTENCIA A 7000 C
ENTRE CONCRETO NORMAL Y CONCRETO LIGERO

	<u>RESISTENCIA</u>	<u>%</u>	<u>PERDIDA</u>	<u>% PERDIDA</u>
CONCRETO NORMAL	188.05	100	0	0
TIPO I	30.35	16	157.71	84 ==
<hr/>				
CONCRETO NORMAL	375.56	100	0	0
TIPO II	70.20	29.5	166.38	70.5 ====
<hr/>				
CONCRETO NORMAL	375.56	100	0	0
TIPO III	117.66	31	257.9	69 ===
<hr/>				
CONCRETO LIGERO	159.6	100	0	
MUESTRA I	58.67	37.76	100.93	63.24 =====
<hr/>				
CONCRETO LIGERO	134.7	100	0	0
MUESTRA II	52.31	38.83	82.39	61.17 =====
<hr/>				
CONCRETO LIGERO	97.33	100	0	0
MUESTRA III	34.97	35.93	62.36	64.07 =====

IV.3) CONDUCTIVIDAD TERMICA

Este ensayo se realizó de acuerdo al método standard de Ensayo para Conductividad Térmica de Materiales por medio de placas calientes protegidas (C-177-71).

La Conductividad Térmica de un material puede variar debido: a las variaciones propias del material o sus especímenes, a la humedad del material, así como con el tiempo o con altas temperaturas.

Debido a los factores antes mencionados, las condiciones bajo las cuales se hace la determinación de la conductividad térmica en el laboratorio, no serán siempre las mismas condiciones en las que se encontrará el material en servicio.

Una representación esquemática del aparato usado en el ensayo se muestra en la figura 4.1.

Se hicieron ensayos de conductividad térmica para 3 tipos de concreto cuyas proporciones en peso de cemento/vidrio volcánico fueron:

1 0.8 1 0.9 1 1.2

Para la realización de los ensayos se prepararon dos (2) planchas de 0.25 x 0.25m. de lado y 1" de espesor, de cada uno de los tipos de concreto ligero.

Se determinó la conductividad térmica de cada uno de los diseños anteriores con dos temperaturas distintas en la placa central, una alta ($\pm 130^{\circ}\text{C}$) y la otra baja ($\pm 35^{\circ}\text{C}$).

SIMBOLOGIA

d	=	Espesor de la muestra
I	=	Intensidad de corriente (Placa central).
V	=	Voltaje (Placa Central)
W	=	Potencia eléctrica (Placa central)
Ta	=	Temperatura ambiental
T1	=	Temperatura Placa Central
T2.1	=	Temperatura Placa Exterior
T2.2	=	Temperatura Placa Exterior
T2.	=	Temperatura Promedio Placa Exterior
K	=	Conductividad Térmica

IV.3.1) MUESTRA 1 : 0.8
 =====

1) CONDICIONES

- Duración del calentamiento previo
04.00 horas.
- Las muestras fueron secadas previamente durante 24 horas, a 90° C de temperatura.
- Se medirá la conductividad térmica para 2 temperaturas distintas de la placa central.

2) TEMPERATURA I

d	=	2.5 cm.	
I	=	1.2 amp.	
V	=	30 Vol.	
W	=	36 Watts	
Ta	=	26.2° C.	1.037 mw.
T1	=	130.55° C.	5.737 mw.
T2.1	=	28.68° C.	1.137 mw
T2.2	=	35.4° C.	1.417 mw.
T2	=	32.04° C.	

$$K = \frac{P \times d}{0.38 \times \Delta C} = 2.404 \text{ Mw/cm. } \Delta C$$

$$x(0.086) = 0.207 \quad \text{Kcal./h.m.} \Delta C$$

$$x(0.693) = 1.666 \quad \text{Btu.in/h.ft}^2 \Delta F$$

3) TEMPERATURA II

$$d = 2.5 \text{ cm.}$$

$$I = 0.4 \text{ Amp.}$$

$$V = 10 \text{ Vol.}$$

$$P = 4 \text{ Watts}$$

$$T_a = 23 \Delta C \quad 0.91 \text{ mw.}$$

$$T_1 = 35.24 \Delta C \quad 1.41 \text{ mw.}$$

$$T_{2.1} = 23.5 \Delta C \quad 1.41 \text{ mw.}$$

$$T_{2.2} = 23.25 \Delta C \quad 0.92 \text{ mw}$$

$$T_2 = 23.38 \Delta C$$

$$K = \frac{P \times d}{0.38 \times \Delta C} = 2.229 \text{ mw/cm.} \Delta C$$

$$x(0.086) = 0.191 \quad \text{Kcal/h.m.} \Delta C$$

$$x(0.693) = 1.538 \quad \text{Btu.in/h.ft}^2 \Delta F$$

4) OBSERVACIONES

- Peso Promedio : 1.505 Kg.
- Pérdida de peso : 1.63 %
- Densidad promedio : 0.963 grs/cm³

IV.3.2) MUESTRA 1 : 1.2
 =====

1) CONDICIONES

Duración del calentamiento previo

04:00 horas.

- Las muestras fueron secadas previamente durante 24 horas, a 90°C de temperatura.
- Se medirá la conductividad térmica para 2 temperaturas distintas de la placa central.

2) TEMPERATURA I

d = 2.5 cm.

I = 1.2 amp

V = 30 Vol.

W = 36 Watts

Ta = 22°C 0.87 mw.

T1 = 141.4°C 6.27 mw.

T2.1 = 23.5°C 0.93 mw.

T2.2 = 28.0°C 1.11 mw.

T2 = 2.575°C

$$K = \frac{P \times d}{0.38 \times \Delta C} = 2.05 \text{ Mw/cm} \cdot \Delta C$$

$$x(0.086) = 0.176 \quad \text{Kcal/h.m} \cdot \Delta C$$

$$x(0.693) = 1.421 \quad \text{Btu.in/h.ft}^2 \cdot \Delta F$$

3) TEMPERATURA II

$$d = 2.5 \text{ cm.}$$

$$I = 0.4 \text{ Amp.}$$

$$V = 10 \text{ Vol.}$$

$$W = 4 \text{ Watts}$$

$$T_a = 22.2 \Delta C \quad 0.88 \text{ mw.}$$

$$T_1 = 36.9 \Delta C \quad 1.48 \text{ mw}$$

$$T_{2.1} = 22.5 \Delta C \quad 0.89 \text{ mw.}$$

$$T_{2.2} = 23.0 \Delta C \quad 0.91 \text{ mw.}$$

$$T_2 = 22.75 \Delta C$$

$$K = \frac{P \times d}{0.38 \times \Delta C} = 1.86 \text{ Mw/cm} \cdot \Delta C$$

$$x(0.086) = 01.6 \quad \text{Kcal/h.m} \cdot \Delta C$$

$$x(0.693) = 1.289 \quad \text{Btu.in/h.ft}^2 \cdot \Delta F$$

4) OBSERVACIONES

- Peso promedio : 1.377 Kg.
- Pérdida de peso : 0.58 %
- Densidad promedio : 0.881 grs/cm³

IV.3.3) MUESTRA 1 : 0.9
 =====

1) CONDICIONES

- Duración del calentamiento previo
04:00 horas.
- Las muestras fueron secadas previamente durante 24 horas, a 90°C de temperatura.
- Se medirá la conductividad térmica para 2 temperaturas distintas de la placa central.

2) TEMPERATURA I

d	=	2.47 cm.	
I	=	1.2 Amp.	
V	=	30 Vol.	
W	=	36 Watts	
Ta	=	24.2°C	0.96 mw.
T1	=	126.88°C	5.56 mw.
T2.1	=	24.75°C	0.98 mw
T2.2	=	27.25°C	1.08 mw.
T2	=	26°C	

$$K = \frac{P \times d}{0.38 \times \Delta C} = 2.32 \text{ Mw/cm.}\Delta C$$

$$x(0.086) = 0.199 \quad \text{Kcal/h.m.}\Delta C$$

$$x(0.693) = 1.608 \quad \text{Btu.in/h.ft}^2.\Delta F$$

3) TEMPERATURA II

$$d = 2.47 \text{ cm.}$$

$$I = 0.4 \text{ Amp.}$$

$$V = 10 \text{ Vol.}$$

$$W = 4 \text{ Watts}$$

$$T_a = 22.5\Delta C \quad 0.891 \text{ mw.}$$

$$T_1 = 34.79\Delta C \quad 1.391 \text{ mw.}$$

$$T_{2.1} = 22.65\Delta C \quad 0.0896 \text{ mw.}$$

$$T_{2.2} = 22.85\Delta C \quad 0.904 \text{ mw.}$$

$$T_2 = 22.75\Delta C$$

$$K = \frac{P \times d}{0.38 \times \Delta C} = 2.159 \text{ mw/cm.}\Delta C$$

$$x(0.086) = 0.186 \quad \text{Kcal/h.m.}\Delta C$$

$$x(0.693) = 1.496 \quad \text{Btu.in/h.ft}^2.\Delta F$$

4) OBSERVACIONES

- Peso promedio : 1.419 Kg.
- Pérdida de peso : 1.88 %
- Densidad promedio : 0.919 grs/cm³

RESUMEN DE RESULTADOS:

DOSIFICACION EN PESO	TEMPERATURA EN PLACA CENTRAL °C	DENSIDAD PROM. (gr/cc)	CONDUCTIVIDAD <u>Btu. pulg.</u> h. pié ² . °F	RESISTIVIDAD
1: 0.8	130.55	0.963	1.666	0.600
1: 0.8	35.24		1.538	0.650
1: 0.9	126.88	0.919	1.608	0.622
1: 0.9	34.79		1.496	0.668
1: 1.2	141.40	0.881	1.421	0.704
1: 1.2	36.90		1.289	0.776

Estos resultados se pueden comparar con los valores dados para materiales ensayados en Inglaterra por la Asociación de Cemento y Concreto, que se muestran a continuación. (Cuadro IV.1)

C U A D R O I V . 1

M A T E R I A L	DENSI DAD	COND UCTIVIDAD TERMICA <u>Btu. Pulg.</u> h.pie ² .°F	RESISTI VIDAD TERMICA
Ladrillos	1,750	4.47	0.2237
Enyesados	1,400	2.235	0.4474
Madera	650	0.5486	1.8227
Plantilla de Ce - mento	2,100	3.2512	0.3076
Concreto con gra- va, 1:2:4:	2,400	5.4864	0.1823
Concreto con gra- va sin finas	1,600	2.8448	0.3515
Concreto de clín- ker 1:10	1,500	1.2598	0.7938
Concreto de con - resiones de cen <u>i</u> za de combustible pulverizado	1,100	1.0973	0.9113

Concreto de escoria espumosa 1:2:5:7.5	1,100	1.0363	0.9650
Concreto de arco- lla expandida, 1:8	800	0.9347	1.0698
Concreto de Vermicu lita y Perlita, 1:4	550	0.6096	1.6404
Concreto de Piedra Pómez, 1:2.5:7.5	700	0.7112	1.4061
Concreto celular, 1:4 (auto clave)	650	0.5486	1.8227
Concreto de Vidrio Volcánico, 1:4.5	960	1.602	0.624
Concreto de Vidrio Volcánico, 1:5	910	1.552	0.644
Concreto de Vidrio Volcánico, 1:6.70	880	1.355	0.738

C A P I T U L O V

=====

V.1) CONCLUSIONES

- El uso estructural de este tipo de concreto ligero está restringido por su baja resistencia a la compresión (155 Kg/cm²).
Un estudio más profundo, donde se tome en cuenta la reducción del peso del concreto del elemento, será necesario antes de determinar su utilidad.

- Para paredes pre-fabricadas, sí es útil este concreto.
Debido a su poco peso, las cargas que actúan sobre las paredes disminuye considerablemente; además, una resistencia entre 80 y 100 Kg/cm², será suficiente para un buen funcionamiento estructural de las paredes.

- Planchas divisorias de ambientes y parapetos también podrían fabricarse con este concreto, con la ventaja de que éstos elementos

tos aligerarían las cargas sobre losas o voladizas.

- Si se usase para enlucir cielo rasos o tarrajear paredes, se disminuirían las cargas sobre la estructura.
- Las ventajas anteriormente enumeradas, se verían aumentadas si se toma en cuenta:
 - . La conductividad térmica del concreto hecho con vidrio volcánico es aproximadamente 4 veces menor que la del concreto normal. Con lo cual cualquier construcción o ambiente estaría mucho más aislada del frío y/o calor. Sus propiedades son pues, muy importantes.
 - . La resistencia al calor del concreto con vidrio volcánico es mayor que la del concreto normal (item IV.2), lo cual dá una mayor seguridad en el caso de un siniestro.

V.2) RECOMENDACIONES

Concretos más ligeros y de la misma resistencia, podrían obtenerse, si se hace un control del agregado grueso a usarse.

El vidrio volcánico al salir del horno como agregado grueso, puede ser sometido a un control de peso, pues algunos de los trozos no son quemados bien y esto los hace más pesados que los demás. Un método sencillo de seleccionar los trozos ligeros de los que no lo son, sería echando el agregado al agua para luego escoger aquellos que floten, pues su densidad sería menor al 1,000 Kg/cm³, y los que se hundan desecharlos.

Se debe tomar precauciones si se usa el concreto ligero con vidrio volcánico en exteriores, pues, si éste se moja, perdería resistencia, debido a que el vidrio volcánico húmedo es menos resistente que cuando está seco.

En cualquier otro estudio que se haga al respecto, deberá establecerse que el tamaño máximo del agregado grueso es de 1/2". Inclusive, podrá estudiarse el concreto usando un tamaño máximo de 3/8" o menos.

La razón de éste, es que como el agregado de vidrio volcánico es frágil, al colocar trozos mayores de agregado, se está produciendo un plano más débil que el resto del concreto.

Se vé la necesidad de hacer un análisis económico comparativo, para determinar la factibilidad económica de utilizar el concreto ligero con vidrio volcánico u otro material

B I B L I O G R A F I A

- 1.) CONCRETO LIGERO.- Andrew Short y William -
Kinniburgh
- 2.) LIGHTWEIGHT CONCRETE.- Expanded Shale, Clay
and Slate Institute
- 3.) DISEÑO DE CONCRETOS ESTRUCTURALES EMPLEANDO
AGREGADOS LIGEROS.- Rolando Núñez Valdivia
- 4.) COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ANTE LA ACCION
DEL FUEGO.- (Tesis Uni. Nº 1891) Angel Ma -
glio Salazar
- 5.) PRACTICA RECOMENDADA PARA SELECCIONAR PROPOR
CIONES PARA EL CONCRETO ESTRUCTURAL LIGERO.-
ACI- 613- 59
- 6.) NORMA STANDARD PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVI
DAD TERMICA DE MATERIALES.- ASTN- 177- 71