



5146

DESCARTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

"VIBRADO DE CONCRETO"

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO
DE INGENIERO CIVIL
PRESENTA

JOSE JESUS RICARDO ARAIZA DE LA PEÑA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
Exámenes Profesionales
Húm. 40-668
Exp. Núm. 40/214.2/

al Pasante señor José Jesús Ricardo ~~ALFAR~~ DE LA ROSA,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es
grato transcribir a usted a continuación el tema que apro-
bado por esta Dirección propuso el profesor Ing. Roberto-
Betancourt Arce, para que lo desarrolle como tesis en su
Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"VIBRADO DE CONCRETO"

- I. Introducción.
- II. Equipo y técnicas
- III. Efectos del vibrado
- IV. Comprobación de laboratorio
- V. Conclusiones.

Ruego a usted tomar debida nota de que en -
cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones,
deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de
seis meses como requisito indispensable para sustentar Exa-
men Profesional; así como de la disposición de la Direc-
ción General de Servicios Escolares en el sentido de que -
se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis,
el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
México, D.F. 11 de Julio de 1973.

EL DIRECTOR

Juan Casillas G. de L.
Dr. Juan Casillas G. de L.

L.G.
JCGL'GSA'mrg.

**A MIS PADRES Y HERMANOS:
CON GRAN CARIÑO**

**A MI ESPOSA:
POR SU APOYO Y COLABORACION**

A MIS MAESTROS Y AMIGOS

CON GRATITUD MUY ESPECIAL POR SU VALIOSA AYUDA
LA CUAL HIZO POSIBLE EL DESARROLLO DE ESTE TRA-
BAJO :

AL ING. MANUEL MENA FERRER y

AL ING. CARLOS JAVIER MENDOZA ESCOBEDO

CON GRAN RESPETO Y AFECTO A MI DIRECTOR DE TESIS
ING. ROBERTO BETANCOURT ARCE

**AL JURADO, AL QUE AGRADEZCO
SU ATENCION:**

ING. ROBERTO BETANCOURT ARCE

ING. GUSTAVO POZOS LABARDINI

ING. CARLOS M. CHAVARRI

ING. SERGIO ZUÑIGA BARRERA

ING. CARLOS J. MENDOZA ESCOBEDO

Contenido:

I.- INTRODUCCION

- 1.- Antecedentes del Vibrado

II.- EQUIPO Y TECNICAS

- 1.- Vibración Externa
- 2.- Vibración Interna
- 3.- Equipo de Vibrado
- 4.- Revibrado de Concreto
- 5.- Sobrevibrado de Concreto
- 6.- Precauciones que se deben tomar en el Vibrado de Concreto

III.- EFECTOS DEL VIBRADO

- 1.- Acción de las fuerzas de vibración sobre las fuerzas de viscosidad plástica del Concreto

IV.- COMPROBACION DEL LABORATORIO

- 1.- Proporcionamiento de Mezclas
- 2.- Prueba de Revenimiento
- 3.- Cilindros compactados con Varilla
- 4.- Cilindros compactados con Vibrador
- 5.- Determinación del Peso Volumétrico
- 6.- Determinación de la densidad (en estado saturado)
- 7.- Determinación del % de Absorción
- 8.- Ruptura de cilindros
- 9.- Prueba de Tensión Indirecta

V.- CONCLUSIONES

CAPITULO I

INTRODUCCION

Cuando la industria de la construcción empezó a utilizar el concreto, la práctica de colocación se hacía generalmente en capas no muy profundas, por consiguiente se utilizaba una consistencia semejante a la de la tierra húmeda, la cual era compactada a base de pisones y por lo tanto se requería mucha mano de obra.

Con la introducción del concreto reforzado, las secciones resultaron más delgadas y debido al acero que tenían en su interior no fue posible utilizar un concreto con consistencia de tierra húmeda, por lo que fué preciso y necesario el uso de un concreto que tuviera una consistencia plástica.

Los sistemas de transportación del concreto que existieron en esa epoca, vieron las conveniencias de transportarlo en condiciones cada vez más húmedas, con lo cual les permitía, posteriormente, mezclas más trabajables.

Las investigaciones han demostrado, que a medida que las mezclas son más secas, su resistencia es mayor y viceversa, cuando las mezclas son más aguadas se presentan cualidades no deseables en ellas; sin embargo, estas mezclas no fueron utiliza-

das como debieran, en virtud de que era necesario un esfuerzo -
extra así como el costo para la colocación y compactación de es-
tas mezclas secas resultaba alto.

Posteriormente se descubrió que el concreto fresco, aun-
que fuera seco y áspero, adquiere propiedades reológicas comple-
tamente diferentes, cuando es sometido a impulsos vibratorios de
alta frecuencia.

Con la vibración el concreto áspero, se hace plástico y el
plástico se hace fluido, la fricción entre las diversas partículas -
de la mezcla se reduce debido a la vibración, en tal magnitud que
la masa total se hace más fluida. La fuerza de la gravedad con -
tribuye a que la mezcla se asiente y busque su mayor densidad, -
sa liéndose de la mezcla los vacíos debidos al aire atrapado.

Cuando las vibraciones se suspenden, la fricción nuevamen-
te hace que se inmovilice el concreto. Como consecuencia de este
descubrimiento, se presentó una forma económica para consolidar
concreto seco, rígido y no manejable. Se desarrollaron los vibra-
dores con lo cual se pudo reducir notablemente la mano de obra, y
las operaciones con el concreto se hicieron más mecanizadas con
la consiguiente reducción en el costo, lográndose concretos de me-
jor calidad y por supuesto más económicos.

La exposición de este trabajo comprende tres partes:

En la primera parte se presenta, la técnica del concreto debido a la vibración, así como la técnica de operación de los vibradores y los tipos de vibradores que existen.

En la segunda parte se habla de los efectos que se producen dentro de la masa de concreto motivados por los impulsos vibratorios.

En la tercera parte, se presenta la investigación del Laboratorio a base de compactar el concreto por medio de varilla y comparándolo con el concreto vibrado.

CAPITULO II

EQUIPO Y TECNICAS

La vibración del concreto se produce por medio de vibradores, estos tienen por objeto imprimir a un conjunto material un movimiento oscilatorio periódico, que no es necesariamente armónico.

Las ondas que resultan de la acción de un vibrador se transmiten al concreto por diferentes técnicas que se resumen en dos categorías, que son:

- 1) Vibración Externa
- 2) Vibración Interna

El campo de aplicación de la vibración externa es principalmente el de la prefabricación, en la cual se utilizan dosificaciones pequeñas de agua, en cambio el campo de la aplicación de la vibración interna es útil en trabajos de concretos muy fluidos en grandes masas (presas, obras portuarias, etc.) o en pequeñas masas (columnas, vigas de construcción, losas, etc.).

Estos dos procedimientos son similares en sus observaciones científicas, pero es conveniente mantener sus diferencias de utilización, por lo que se definen separadamente.

Vibración Externa

Forma como se transmite la vibración

Las fuerzas que se desarrollan en una masa de concreto por la acción de un vibrador, provoca la compactación de los áridos.

Este fenómeno varía constantemente desde el inicio de la vibración hasta el momento en que todos los elementos del concreto, incluyendo el agua, están en contacto y el estudio de las diferentes fases del compactado es consecuencia directa de las observaciones de carácter tecnológico, las cuales determinan la composición del concreto, la frecuencia de las vibraciones, su dirección, su amplitud, y consecuentemente el valor de la fuerza motriz vibradora.

Lo que ocurre es lo siguiente: en un recipiente equipado con un vibrador y lleno de un concreto no compactado, se observa que al comienzo de la operación, una gran parte de los áridos reposan unos sobre otros dejando entre sí huecos. El movimiento alternativo del molde se transmite a estos áridos, produciendo una separación que presenta aspectos diversos de acuerdo a la granulometría y cantidad de agua. Por otro lado, resulta casi imposible aglomerar concreto seco bajo la única acción del vibrado.

En cambio con la presencia de una cantidad de agua suficiente modifica el problema puesto que es un elemento que transmite ondas de vibración, además con la arena y el cemento forma un mortero dotado de fuerzas elásticas que frena los movimientos de expansión.

Cuando se suspende la vibración, el concreto adquiere consistencia siendo capaz de resistir esfuerzos de compresión y tracción muy grandes que permiten el desmoldeo inmediato, y también ciertas manipulaciones; adquiriendo ahora el concreto sus más importantes cualidades de resistencia, que es lo que mas interesa al constructor.

Influencia de la frecuencia en la vibración.

Observando los movimientos del concreto en un molde sujeto a vibraciones con una frecuencia de 6000 rpm, con una fuerza máxima de 30 grs. y amplitud de 0.6 a 0.7 milímetros, el movimiento de los áridos es demasiado brusco cualquiera que sea su diámetro. En el caso de una vibración de poca aceleración, se producen fenómenos de resonancia en el complejo formado por el mortero y los áridos.

Para explicar mejor este fenómeno, es necesario auxiliar

se con las leyes del movimiento oscilatorio de un cuerpo de masa "M" suspendido de un resorte que tiene como característica un valor "K", frenado y sometido a la acción de una vibración forzada tal como se muestra en la (figura 1), el movimiento es frenado por un amortiguador "C". Como la fuerza de amortiguamiento es proporcional a la velocidad de desplazamiento tenemos que:

$$A = C.v$$

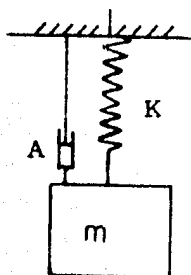


Fig. 1

Vibración de un cuerpo elástico frenado por una fuerza resistente.

Separando al cuerpo de su posición de equilibrio y soltando de manera que se originen vibraciones libres con una resistencia viscosa, el movimiento que resulta puede tomar diferentes - aspectos. Se tiene entonces que si "C" (coeficiente de resisten-cia viscosa) es muy grande, el cuerpo desplazado vuelve a su posición lentamente (figura 2)

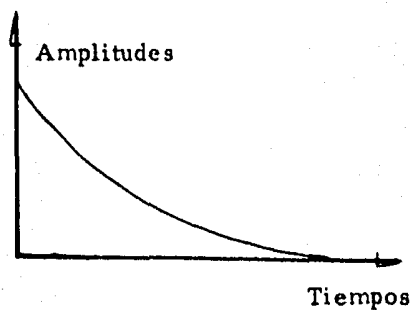


Fig. 2

Movimiento vibratorio de una masa frenado por una gran resistencia viscosa.

Si " C " es pequeño, entonces el cuerpo vuelve a su posición de equilibrio después de una serie de oscilaciones de amplitud de creciente (figura 3)

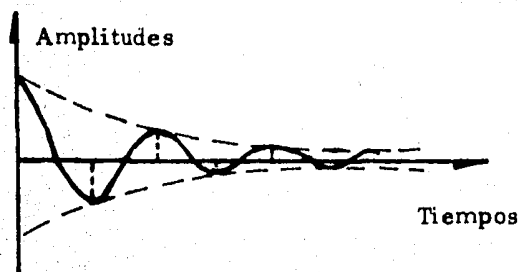


Fig. 3

Movimiento vibratorio de un sistema en el que existe una débil resistencia viscosa.

Cuando se produce un cambio en las condiciones de compor
tamiento, se presenta un coeficiente de resistencia crítica " C_c ", -
cuyo valor, está dado por:

$$C_c = 2m W_n$$

donde W_n = pulsación natural

Al comunicarle al cuerpo "M" o al resorte impulsos periódicos de frecuencia $f = \frac{1}{n}$, el cuerpo vibrará con esta frecuencia, pero podrá adquirir amplitudes diversas, que variarán en función de la relación que exista entre la frecuencia natural "N" y la de la vibración forzada, como se muestra en la (figura 4) en la que las amplitudes se llevan sobre el eje vertical y sobre el eje horizontal se representan las relaciones entre la frecuencia del movimiento forzado y la frecuencia natural.

Se dice entonces que, para frecuencias débiles, la masa sigue el movimiento forzado, en el caso de resonancia las amplitudes son muy grandes, por último cuando la vibración es rápida, la inercia de la masa hace que esta se desplace poco y las amplitudes son casi nulas.

Influencia de la dirección de la vibración.

a) Vibración Horizontal

Para explicar este fenómeno es necesario considerar un apilamiento de partículas en contacto 1, 2, 3, 4 (figura 5). Si damos un impulso horizontal a la partícula 1 de la base, esta se des-

plazará ligeramente, pero la acción de la fuerza horizontal "F" no se transmite progresivamente a las partículas 2, 3, 4, solo por rozamientos. La partícula 2 estará sometida, a una fuerza cualquiera, por ejemplo $(0.10) F$, la partícula 3 a la $(0.10)^2 F$ - y la partícula "n" a la $(0.10)^{n-1} F$. Se observa que la acción horizontal queda rapidamente amortiguada en el sentido vertical; - además, cuando las partículas se desplazan, modifican las bases de apoyo de las capas superiores y provocan un cierto compactado bajo la acción de la gravedad.

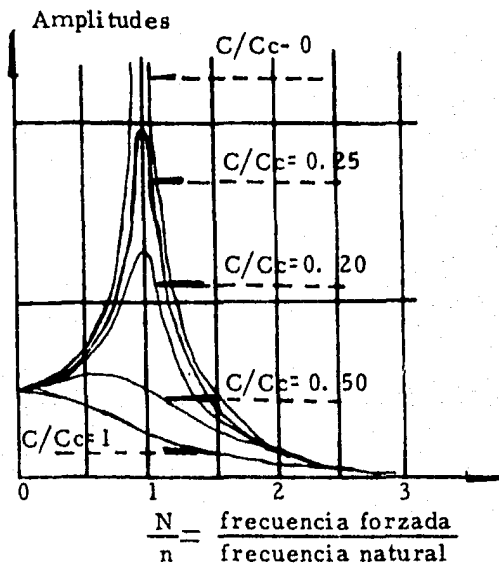


Fig. 4

Variación de amplitudes máximas en función de la relación entre la frecuencia forzada y la frecuencia natural.

Cuando la amortiguación "C" es débil, tenemos el caso de una vibración forzada, sin resistencia y las amplitudes se hacen muy grandes cuando las frecuencias natural y forzada son iguales. Al aumentar el coeficiente "C", las amplitudes de las vibraciones forzadas son máximas para valores de "N" cercanos a "n", pero tienen un límite, su máximo disminuye a medida que "C" aumenta, hasta desaparecer totalmente cuando "C" llega a tomar el valor del coeficiente crítico (C_c). Resumiendo, cuando "N" es más pequeño que "n", las amplitudes aumentan con "N" y alcanzan el máximo para $\frac{N}{n} = 1$. Estas amplitudes disminuyen cuando "N" continúa aumentando y acaban por anularse.

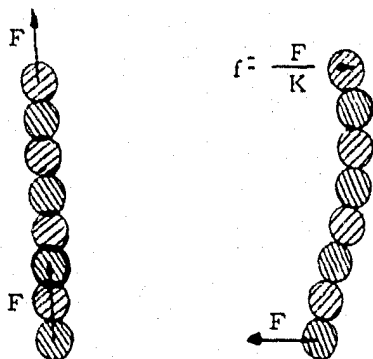


Fig. 5

Proceso de transmisión de una onda vertical
y de una onda horizontal

b) Vibración Vertical

Considerando nuevamente el apilamiento de partículas - 1, 2, 3, 4 aplicando una fuerza "F" sobre la partícula 1 de la base (figura 5). Esta fuerza se transmite casi íntegramente a los elementos superiores, además las partículas que se separan o deslizan por efecto de los choques, se unen nuevamente por la acción de la gravedad y quedan en condiciones de recibir un nuevo impulso.

Una aplicación de este estudio se observa en las máquinas que se utilizan para fabricar aglomerados del tipo de los pequeños bloques empleados en la construcción. Estas máquinas son móviles y son conocidas como "Ponedoras" (figura 6).

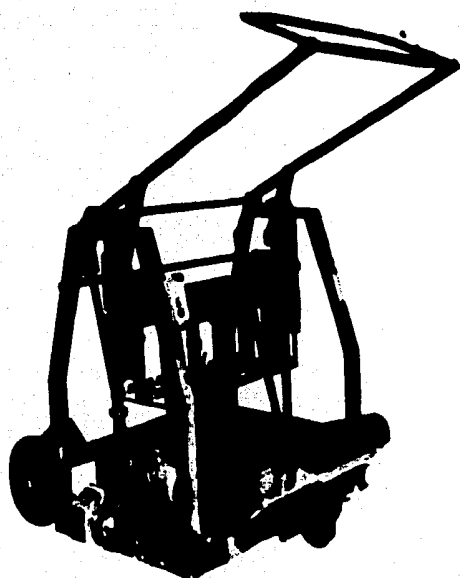


Fig. 6

Máquina de vibración horizontal para fabricación de bloques de construcción

La vibración del molde se realiza por un vibrador de acción horizontal; terminándose el compactado por medio de un pisón libre presado.

Otro tipo de estas máquinas son las Prensas Vibradoras (figura 7) en las que los productos que son fabricados sobre planchetas reciben una vibración vertical acompañada de una compresión que se reduce a la acción de un pisón libre pesado.

Los productos fabricados en "Prensa Vibratoria" vertical son más compactos.

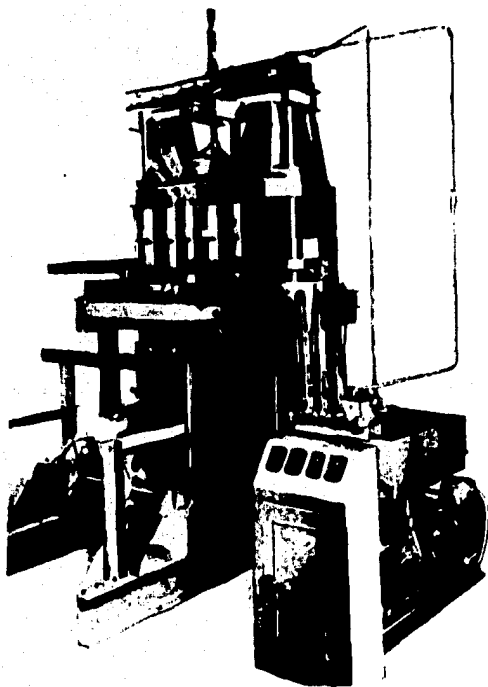


Fig. 7

Prensa vibradora fija de acción vertical

Influencia de la fuerza del Vibrador Externo.

El objeto del vibrador es dar origen a fuerzas alternativas destinadas a crear un nuevo cuerpo viscoso y vencer resistencias interiores propias de este nuevo cuerpo. La elección de la fuerza depende de los siguientes factores: peso del conjunto que se va a hacer vibrar, altura del producto, sentido de la vibración, frecuencia de la vibración, estado reológico del concreto vibrado y tiempo de trabajo que se desea emplear.

Vibración Interna

La vibración interna del concreto se inicio por el año de -

1926 con la idea de colocar el sistema vibrador dentro de la masa de concreto, y que es la que se ha continuado a la fecha, con ciertas modificaciones y perfeccionamiento en el equipo.

La mayoría de vibradores internos se presentan bajo la forma de tubos cilíndricos, los que son introducidos verticalmente en el concreto, los cuales vibran en sentido radial y una vez lograda la acción que se busca, se retiran lentamente. Las observaciones señaladas para la vibración externa, es aplicable también a la vibración interna.

Las ondas que emiten los vibradores internos son del tipo horizontal, la vibración interna es utilizada generalmente en la mayoría de las obras hidráulicas, puentes, etc. y en las construcciones de todas clases.

La acción de un vibrador interno está limitada por la masa contenida en la zona cilíndrica, por lo que es necesario colocar sucesivamente el aparato en diferentes puntos bastante próximos entre sí. La técnica moderna utiliza con ese objeto, frecuencias cada vez mayores, que para fuerzas centrífugas iguales, se requieren masas giratorias mas pequeñas.

Como consecuencia se desprende que las ondas producidas resultan de amplitudes pequeñas, lo que favorece la vibración de -

los elementos finos, amortiguándose rápidamente. Actualmente se investiga la manera de obtener mayores amplitudes de onda con aparatos de poco peso, para lograr un aumento de la zona de acción.

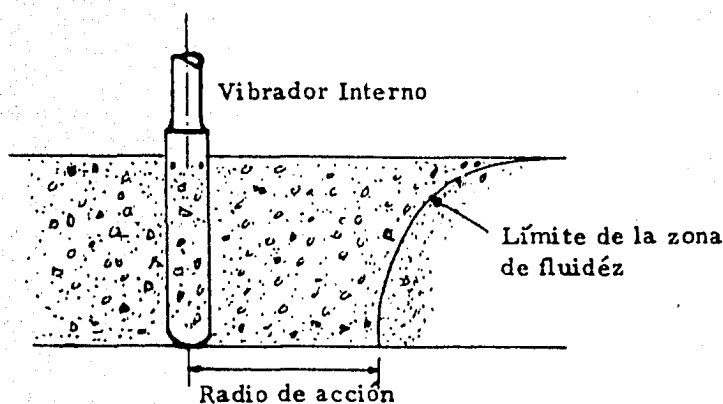


Fig. 8

Zona de Acción de un vibrador interno

El uso de vibradores se ha extendido a casi todo trabajo de concreto, la compactación a mano da resultados satisfactorios para muchos propósitos y es a menudo mas económica. La compactación por vibración hace posible el uso de mezcla de concreto menos fluida, lo cual resulta en un aumento de la resistencia y menores encogimientos al secarse, para las mismas proporciones de las mezclas.

Los diferentes tipos de vibradores requieren diversas consistencias del concreto para la más eficiente compactación. Pueu

de ser que el concreto se encuentre demasiado fluido para una - efectiva compactación por vibración, o demasiado seco.

Al emplear un vibrador para compactar el concreto, ya sea éste interno de molde o de superficie se debe tener un cuidado considerable para evitar segregaciones y compactación no uniforme.

Equipo de Vibrado

A) Vibradores Internos: Cuando su uso es posible, los vibradores internos son más efectivos que los otros tipos.

Los vibradores internos son muy eficientes, ya que toda la energía se transmite directamente al concreto, además son fáciles de manipular y gracias a su movilidad pueden utilizarse en posiciones difíciles. En los vibradores internos, se debe mantener dentro del concreto, la cabeza o extremo vibratorio mientras esté trabajando para que no se calienten los cojinetes y así evitar fallas del mismo.

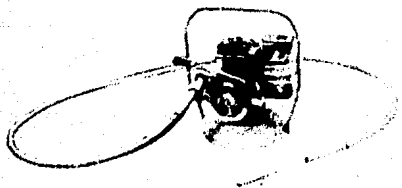


Fig. 9

Vibrador para concreto a gasolina con frecuencia de 8400 a 9600 rpm

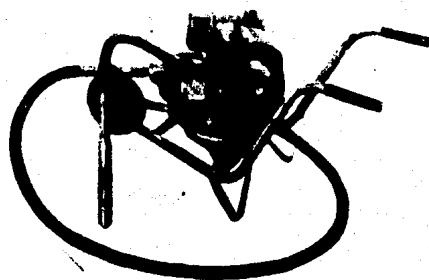


Fig. 10

Vibrador para concreto a gasolina con frecuencia
de 8400 a 9600 rpm

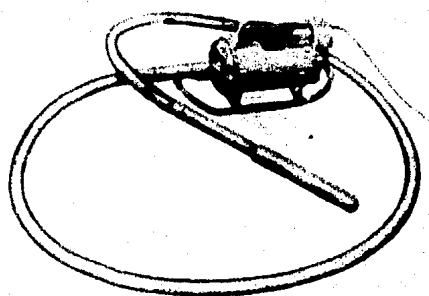


Fig. 11

Vibrador para concreto eléctrico con frecuencia
de 8000 a 12000 rpm

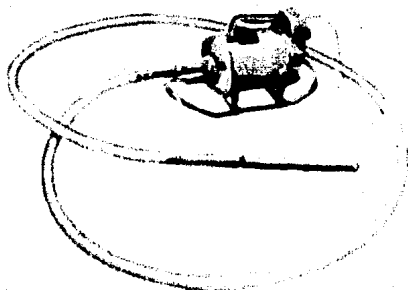


Fig. 12

Vibrador para concreto eléctrico con cabezal de
8000 a 12000 vibraciones por minuto

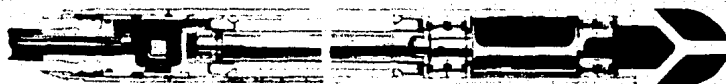


Fig. 13

Corte esquemático de un vibrador interno

Si la manguera es muy flexible, se debe tener cuidado de que esta no se doble en un ángulo muy pequeño, ya que esto los -
gasta excesivamente, estos vibradores como ya se dijo antes, -
deben introducirse lo más verticales que sea posible, en pun -
tos separados de 45 a 75 cms. y deberán sacarse lentamente a
una razón aproximada de 8 cms. por segundo. Se debe tener -
como regla que el vibrador no se usará a una distancia menor -
de 10 cms. del molde, para poder obtener una apariencia uni -
forme, pues si el vibrador toca el molde es muy probable que -
aparezcan rayas de arena, y además puede deteriorar la super -
ficie del molde. El período de vibración en cada tramo debe -
ser de 5 a 15 segundos, sin embargo la cantidad de vibrado debe
juzgarse por la apariencia de la pasta de cemento, cercana al -
molde y por el cambio de sonido que produce el vibrador. Si un
vibrador se mantiene dentro del concreto más tiempo del necesa
rio se nota que aparece la pasta de cemento al rededor del vibrad
dor, por lo que se debe tener cuidado de sacarlo tan pronto co -
mo la pasta empieza a mostrarse y reintroducirlo un poco des -
pués.

Un vibrador no debe ser empleado para empujar concre -
to lateralmente en los moldes, porque es probable que se produz
can segregaciones.

Tabla No. 1.- Características y aplicaciones de los vi

Tipo*	Frecuencia mínima re- comendable rpm	Elemento vibratorio, cm		Capacidad de consolidación m ³ /hr	No. de operarios	
		Longitud	Diámetro			
Cabeza de in- mersión, de operación ma nual.	9000	Hasta 34.3	2.2-4.4	1.5-3.8	1	Co sit ens don cho
Cabeza de in- mersión, de operación ma nual.	9000	25.4-50.8	4.8-6.4	3.8-15.3	1	Co tra lig
Cabeza de in- mersión, de operación ma nual.	7000	25.4-71.1	6.0-7.6	11.5-19.1	1	Co nin nas pue cin
Cabeza de in- mersión, de operación ma nual.	7000	25.4-71.1	6.0-7.6		0 a 1	Eq ma sep aca
Cabeza de in- mersión, de operación ma nual.	7000	30.5-45.7	7.9-11.4	19.1-26.8	1	Co to, ció má ció bra
Cabeza de in- mersión, de operación ma nual.	6000	20.3-48.3	14.0-17.2	19.1-38.2	2	Co inc de bra lid me
Tubo de in- mersión, uni do a máquina pavimentado- ra.	5000	Hasta 7.5 m	7.5	—	0	Pa de sic
De superficie, discos o re- glas.	3000	Hasta 12.82 m de largo y 45 cm de ancho	—	—	0 a 2	Su me sa ho ap
De superfi - cie, disco - giratorio.	1800	—	—	—	1	Su re de su la ob

icas y aplicaciones de los vibradores de concreto

Capacidad de consolidación m^3/hr	No. de operarios	Aplicación
1.5-3.8	1	Concreto plástico, trabajable en miembros muy delgados y sitios confinados, y para fabricación de especímenes para ensayos de laboratorio. Conveniente como auxiliar de vibradores más grandes en trabajos preesforzados, donde muchos cables y ductos causan congestión en las cimbras.
3.8-15.3	1	Concreto plástico, trabajable en muros delgados, columnas, trabes, pilas precoladas, pisos y techos ligeros, cubiertas ligeras de puentes, y a lo largo de las juntas de construcción.
11.5-19.1	1	Concreto plástico, trabajable, con menos de 7.5 cm de revenimiento, en construcción general tal como muros, columnas, trabes pilas precoladas, pisos pesados, cubiertas de puente y losas de techo. Vibración auxiliar adyacente para cimbras de concreto masivo y pavimentos.
	0 a 1	Equipo de vibradores para pavimentos, pueden unirse a un marco en la parte posterior del extendedor, o en un carro separado, o en un marco adelante del primer escantillón del acabador.
19.1-26.8	1	Concreto estructural y en masa de 0 a 5 cm de revenimiento, depositado en incrementos hasta de $1.5 m^3$ en construcción pesada en cimbras relativamente abiertas, en casas de máquinas, pilas de puentes y cimentaciones, y para vibración auxiliar, en construcción de cortinas, cerca de las cimbras y alrededor de objetos ahogados y acero de refuerzo.
19.1-38.2	2	Concreto en masa con agregado de 15.2 cm, depositado en incrementos hasta de $6.0 m^3$ en cortinas de gravedad, grandes pilas, muros masivos, etc. Se requieren dos o más vibradores que operen simultáneamente para fluidizar y consolidar incrementos de concreto de $3.0 m^3$ o de mayor volumen depositados a la vez en la cimbra.
—	0	Pavimentos de concreto para toda la profundidad de la losa, dependiendo del número de unidades, profundidad de inmersión, etc.
—	0 a 2	Superficie de carreteras y pavimentos de aeropuertos. Losas menores de 30 cm de espesor Superficies de concreto en masa para ahogar cantos rodados y para compactar superficies horizontales. Efectiva a una profundidad máxima de 30 cm, -aprox.
—	1	Superficies expuestas a desgaste de concreto con 5 cm. de revenimiento en pisos pesados, rampas, plataformas, losas de puente y losas de cubierta. También se usa para vibrar superficies de concreto expuestas al desgaste para integrarlas con agregado graduado, ya sea metálico o natural, para obtener superficies más duras.

Cuando se colocan dos capas de concreto, el vibrador debe introducirse en todo el espesor de la segunda capa, o sea, el concreto fresco y además de 3 a 5 cms. dentro de la primera capa, esto es con el fin de eliminar cualquier tendencia a formar un plano de separación.

B) Vibradores Externos: Los vibradores externos, son empleados principalmente para miembros de sección pequeña o angosta o fuertemente reforzados. El vibrador externo se adhiere rigidamente al molde, por medio de mordazos o grapas, los moldes deben ser lo suficientemente fuertes y rígidos para soportar las vibraciones y especialmente unidos para evitar la pérdida de lechada.

Al utilizar un vibrador externo es necesario colocar el concreto en capas de unos cuantos centímetros de espesor para lograr un avance uniforme, ya que con estos vibradores son más comunes los huecos por las burbujas de aire, que con los vibradores internos, es recomendable compactar los últimos 60 centímetros a mano o si el espacio lo permite, con un vibrador interno.

Para piezas precoladas de concreto se emplean tablas vibratorias, que es una variante del vibrador externo, en donde

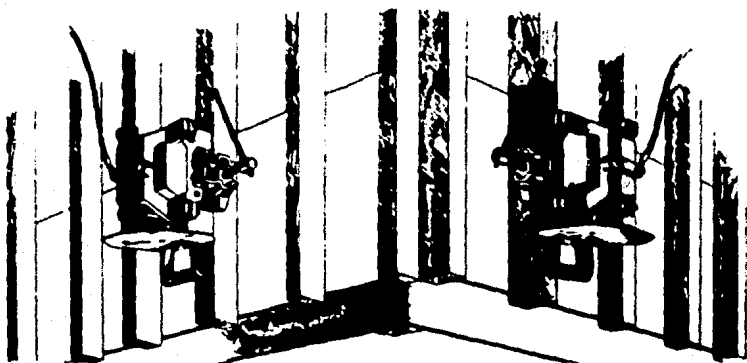


Fig. 14

Vibradores eléctricos de cimbra

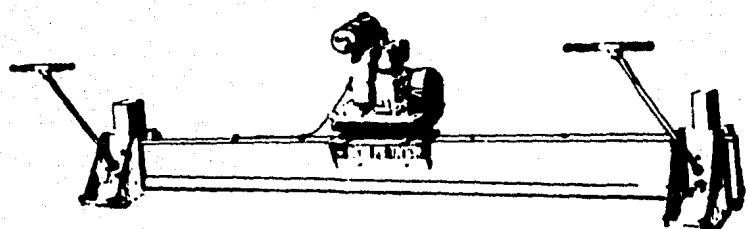


Fig. 15

Vibrador de superficie para consolidación de losas delgadas

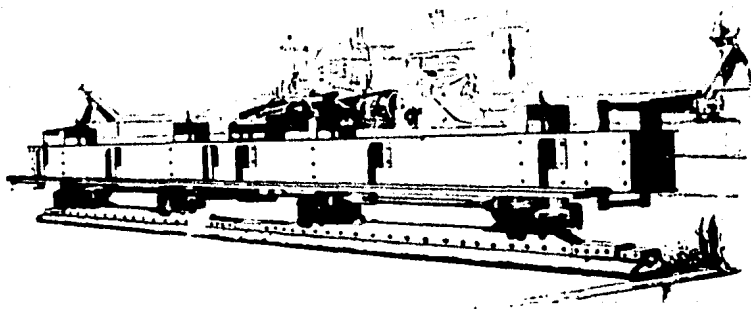


Fig. 16

Regla vibratoria para consolidar pavimentos de concreto

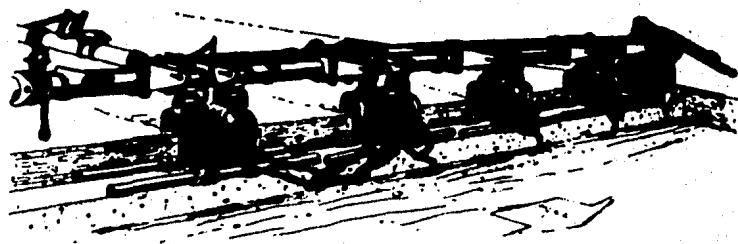


Fig. 17

Tubos vibratorios para consolidar concreto
en carreteras y aeropuertos

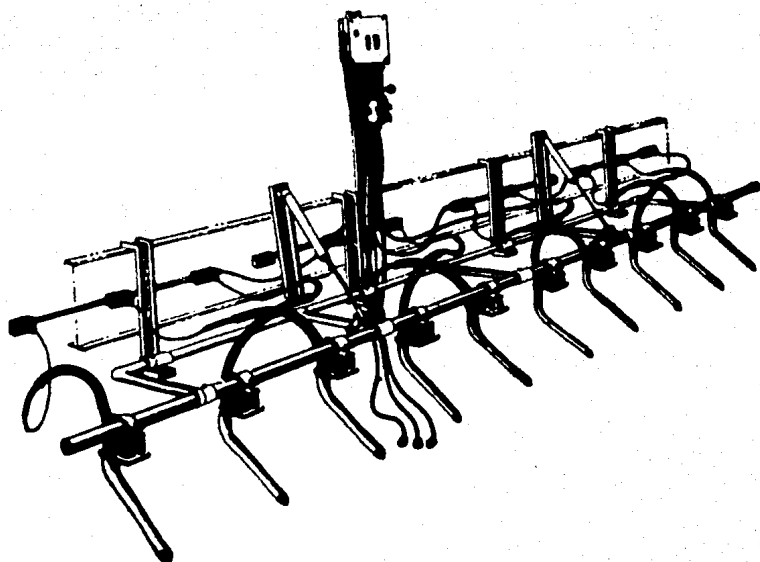


Fig. 18

Cuadrilla de vibradores del tipo de cabeza interna
montados en un marco que permite elevarlos
o decenderlos facilmente

todo el molde vibra uniformemente. Existe también otro tipo de tablas vibratorias, que compactan el concreto por medio de golpes en lugar de vibraciones con los que se obtienen resultados bastante buenos.

C) Vibradores de Superficie: Estos vibradores son utilizados en la compactación de grandes cantidades de concreto, como en presas, muros de retención, pilas de puentes, pavimentos. Los vibradores de superficie deben colocarse en la superficie de la masa, a medida que se vierte el concreto. Estos aparatos actúan simultaneamente por peso y por vibración y su acción se realiza desplazandolo sobre la superficie que se forma una vez que se vierte el concreto. Este procedimiento empleado por regla general en la compactación de las losas de las edificaciones y en los pavimentos, evita peligro de segregación del material, proporcionando una correcta compactación. Estos vibradores en general son efectivos cuando el espesor de la losa no es mayor 0.30 m; si se rebasa esta medida es aconsejable la acción combinada del vibrador interno con el de superficie.

Revibrado de Concreto

Los primeros ensayos de revibrado de concreto se efectuaron en EE. UU. en 1942 y posteriormente en Europa, como en

Francia, obteniendo muy buenos resultados, se logró un incremento medio de resistencia mecánica del 15 al 20%, al revibrar concretos plásticos dos horas después de la primera vibración.

Actualmente se ha observado que este incremento a la resistencia mecánica es del 30 al 40% si el concreto está plastificado con aditivos retardantes y la revibración se lleva a cabo de 3 a 4 horas después de la primera vibración.

La revibración del concreto, es la vibración retardada del mismo, previamente colocado y consolidado. Mediante el revibrado del concreto se logra mejorar la resistencia a la compresión y a la adhesión, se reducen las bolsas de piedra, y se eliminan las bolsas de agua y las de aire. Propicia el desprendimiento del agua atrapada bajo las barras horizontales de refuerzos y disminuye los esfuerzos internos del concreto debidos a la contracción inicial.

El revibrado se efectúa accidentalmente, al colar en varias capas, ya que al estar vibrando las capas superiores con el fin de compactarlas, las vibraciones se transmiten a la capa inferior que está parcialmente endurecida, o puede hacerse intencionalmente, pero a pesar de las ventajas que ofrece es un procedimiento poco empleado.

Sobrevibrado de Concreto

Cuando llega a ocurrir la sobrevibración, se observa en la superficie del concreto una apariencia espumosa debido a la - acumulación de bastantes burbujas pequeñas de aire y el agregado grueso se asentará abajo de la superficie. Estos resultados o curren con mas facilidad cuando el concreto está demasiado húmedo, y la corrección apropiada es reducir el revenimiento y no la vibración, hasta que la evidencia de sobrevibración desaparezca con la magnitud de vibración considerada para consolidar el con-creto y eliminar los defectos por las burbujas de aire.

Por otro lado es sabido que hay pocas imperfecciones en la mano de obra de colocación del concreto, que no pueden corre-girse con vibración adicional. El uso apropiado de la vibración - debe permitir la colocación y consolidación del concreto en sitios difíciles y con revenimientos comparativamente bajos. El alto revenimiento no asegura buenos resultados; de hecho, facilita la se-gregación y los resultados son nada satisfactorios.



Fig. 19

Precauciones que se deben tomar en el Vibrado del Concreto

Como se ha mencionado ya que el vibrado proporciona grandes ventajas, así también pueden presentarse ciertos inconvenientes, si no se toman las precauciones necesarias, tales como:

1. - Los moldes o encofrados deben hacerse mas resistentes y con mayor cuidado, puesto que han de resistir la presión hidrostática de un líquido cuyo peso volumétrico fluctúa entre 2 400 y 2 500 Kg/m³, para evitar que la lechada agua-cemento se escurra por las juntas.
2. - El concreto a vibrar ha de colocarse en los moldes por capas horizontales y en forma continua, introduciendo verticalmente el vibrador de inmersión durante un tiempo no mayor de 15

segundos y a distancias no mayores de 0.40 m. Hay que vigilar la tendencia de nuestros obreros, quienes siempre concentran fuertes volúmenes en una sola zona y provocan su escurreimiento por medio del vibrado.

3. - Debe procurarse no vibrar las armaduras, si entre una etapa y otra de colado ha transcurrido un tiempo superior al del fraguado inicial del cemento.
4. - El vibrado debe hacerse a fondo, pero sin exceso, para evitar la segregación de los materiales, pues ésta siempre se produce cuando la fluidez es excesiva.
5. - En la vibración externa, los vibradores han de colocarse convenientemente repartidos y de acuerdo con su radio de acción, el cual varía con la naturaleza y forma de los moldes y con el grado de plasticidad de las revolturas. Los aparatos deben sujetarse un poco por encima de la capa de concreto que se está colocando, pues ya que se ha comprobado que existe la tendencia a la formación de agrupamientos de los agregados en los lugares donde se sujetan los aparatos.
6. - Para cualquier procedimiento de vibrado, debe evitarse, que las vibraciones se transmitan a las partes ya colocadas en obra y en las cuales el concreto puede haber comenzado a fraguar.

7. - Para evitar la segregación de las capas superpuestas, en el caso de la vibración superficial, se recomienda utilizar este procedimiento en capas no mayores de 0.30 m, o en casos - de espesores mayores, utilizar la acción combinada. Se recomienda además poner entre capa y capa, en el momento de pasar, una capa de agredado grueso ligeramente vibrada, con el fin de dejar una superficie muy rugosa que facilitará la li - ga o enlace con la nueva capa.
8. - Por último, es conveniente formar nuevas experiencias, anotando los resultados que se obtengan para asegurar la calidad del concreto vibrado en obras futuras.

CAPITULO III

EFECTOS DEL VIBRADO

Los efectos comprobados del concreto vibrado son, de hecho una puesta en movimiento de los elementos que lo constituyen y una aproximación mutua de ellos, de tal forma que el concreto salido de la revolvedora sufre una disminución en volumen durante su aplicación.

Estos efectos varían particularmente en función de la humedad de la mezcla. Un concreto fresco muy fluído resulta lubricado por el agua en exceso y se situa muy facilmente.

Los áridos se someten a movimientos diversos, deslizándose unos sobre los otros y bajo la acción de la gravedad llenan los huecos, imbricándose de forma que constituyen un conjunto compacto.

A medida que la dosificación en agua disminuye, el concreto adopta diferentes aspectos; papilla, tierra húmeda, tierra o arena apenas humedecidas; el volumen de los huecos aumenta y se hace mas difícil su asiento en los moldes. Es entonces cuan

do interviene la vibración y se logra un nuevo cuerpo con el aspecto y propiedades de un material plástico, en el que la viscosidad depende a un tiempo de la composición del cuerpo y de las condiciones de la vibración.

Cuando la vibración se suprime, queda detenida la movilidad de los elementos, pero se ha originado un cuerpo coherente, EL CONCRETO FRESCO, que adquiere sus cualidades definitivas durante el proceso de fraguado.

El concreto fresco en el caso en que se tenga una dosificación baja en agua, es capaz de resistir a la compresión y a la tracción, de tal modo que un producto puesto en molde bajo vibración puede sacarse de este inmediatamente sin deformación importante.

La explicación de este fenómeno, añadiendo a lo ya expuesto, está en que la mutua aproximación de los conglomerados (bajo la acción de la gravedad y fuerzas de compresión) origina una multitud de canales intersticiales llenos de lechada que, por acción capilar, ligan a los componentes entre sí, resultando finalmente un entramado de ligaduras microscópicas y así lograr una íntima cristalización de las gravas de cemento debidamente hidratadas, durante la mezcla, por el agua de proporcionamiento.

Examinando lo que ocurre en la masa del concreto interiormente, cuando es sometido a la acción del vibrado, una vez que se cumple el relleno, se deduce que todos los áridos están envueltos por la pasta constituída por granos más o menos finos, y están ligados entre ellos por las tensiones superficiales de los canales capilares y laminares. Esta pasta presenta caracteres de elasticidad que pueden compararse, para pequeñas deformaciones, con resortes que ejercen su acción en medios viscosos. La representación de este fenómeno se aprecia en la figura 20

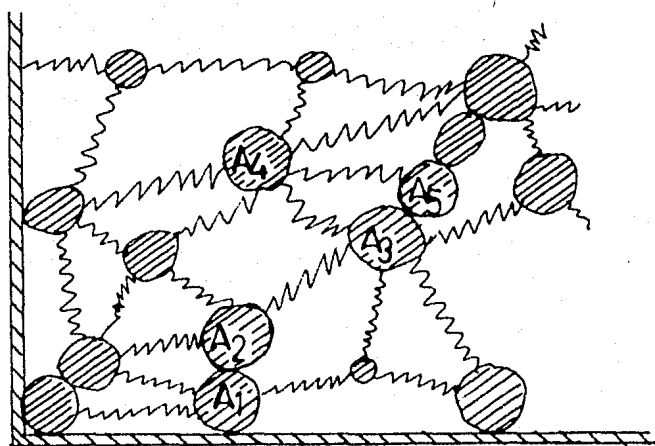


Fig. 20

Imagen de la vibración de un conjunto de granos ligados por canales elásticos

De esta observación es fácil concebir como tiene lugar la transmisión de las ondas vibratorias a través de los elementos "A" ligados por sistemas elásticos.

Si se considera la superficie cualquiera "Z" que vibre. Un elemento "A₁" en contacto con la pared, puede transmitir las ondas vibratorias a otro elemento "A₂" con el que a su vez su acción a otro elemento interior "A₃"; éste ejercerá idéntica acción sobre otro elemento "A₄", ya sea por contacto directo o por medio de resortes, y así sucesivamente se van transmitiendo la acción de un elemento a otro. Con lo que todos - los elementos "A" vibrarán con la frecuencia forzada, pero - con diversos retardos y amplitudes que serán variables para cada uno de los granos en función de su masa "m" y de un coeficiente "K" que caracteriza al medio elástico circundante.

Se han realizado estudios matemáticos del concreto - vibrado, tales como los presentados por M. Freyssenet y por M. L' Hernite. Ellos suponen que las condiciones de contacto entre las partículas o elementos están establecidas, es decir, que se encuentran al final de la operación del cerrado.

Pero estas fórmulas aún no han encontrado aplicaciones prácticas.

La vibración desempeña, pues, un papel muy importante en el vaciado y acomodamiento del concreto, resultando en muchos casos primordial.

La experiencia ha demostrado que la resistencia final de un concreto se incrementa conforme el agua de la mezcla corresponde a la necesaria para la completa cristalización del cemento. La relación agua-cemento, por otra parte, define la resistencia a la ruptura del concreto, dentro de un tiempo dado.

En ciertos casos, se utiliza el prensado, pero los productos obtenidos son aún imperfectos, permeables al agua y al aire; como ocurre en los bloques manufacturados en que únicamente se emplea la compresión, o en los tubos fabricados en máquinas de zapatas giratorias.

La vibración proporciona mejores resultados; no solamente cierra los elementos entre sí, sino que asegura una mejor distribución de la lechada en la primitiva esponja arenosa de la mezcla, humedece la mayoría de los granos de cemento en el conjunto de la masa, favoreciendo las cristalizaciones con el máximo rendimiento.

No resulta presuntuoso afirmar que sin el empleo de una vibración conveniente, sería imposible manejar concreto de al-

ta resistencia partiendo de mezclas con el mínimo de agua.

En efecto, la aproximación mutua de las partes finas, agua, cemento, arena conduce a la formación de un mortero - plástico vibrante, que se puede comparar con una pasta dentí - frica, la cual no se puede variar la forma o contextura sin un aporte de fuerzas apropiadas, con frecuencia superiores a la gravitación.

ACCION DE LAS FUERZAS DE VIBRACION SOBRE LAS FUERZAS DE VISCOSIDAD PLASTICA DEL CONCRETO.

Se dice que el concreto vibrado es un cuerpo heterogéneo integrado por diferentes elementos, de diferentes tamaños, ani mados de movimientos distintos, mientras que, los estudios de viscosidad se realizan sobre cuerpos netamente más homogé - neos: pastas, lechada de cemento, morteros finos, etc. Se ob serva facilmente que la introducción de gravilla en la masa de una pasta cualquiera, por ejemplo en un jabón blando, no cam - bía las características de éste. Refiriéndome a nuestro caso, la pasta es el mortero de arena y cemento, siendo este último el que desempeña el papel principal en cuanto a las posibilida - des de fluidez del concreto se refiere.

Practicamente se ha observado que un molde colocado so

bre una mesa vibratoria sujeta a acción uniforme se puede llenar con una cierta cantidad de concreto estando probado que el aumento del tiempo de vibración no permite la admisión de más cantidad del producto. Pero si se aumenta la potencia de vibración será posible añadir más concreto. Lo que ocurre es lo siguiente:

Con la vibración se origina un cuerpo plástico que se caracteriza por su viscosidad plástica y la existencia de un límite inferior de cortante que permiten llegar a un equilibrio. No existen para los elementos la posibilidad de movimientos internos de aproximación mutua y el entramado entre elementos queda detenido. Al aumentar las aceleraciones en la vibración ofrece entonces una nueva posibilidad de movimientos internos de los elementos, lo que hace que el fenómeno progrese.

Se concluye pues, que el efecto de la vibración pone en juego fuerzas de dos tipos: las que producen la vibración y las fuerzas de viscosidad.

Un concreto vibrado se caracteriza por los coeficientes de viscosidad plástica, que son función a su vez, de la composición del concreto (granulometría, naturaleza de los áridos, dosificación en general, etc.) y de las características de la vibración (frecuencia, amplitud, trayectoria, etc.). Puede ocurrir

que se establezca un equilibrio entre las fuerzas de vibración y las fuerzas internas de viscosidad, quedando limitada la ligadura íntima de los elementos del concreto o bien que dicho equilibrio pueda romperse modificando el modo de vibración.

CAPITULO IV

Comprobación del Laboratorio

En el laboratorio se prepararon 18 cilindros a base de tres mezclas con diferentes revenimientos. Para cada una de estas mezclas se prepararon 6 cilindros, de los cuáles tres se varillaron y tres se vibraron. El proporcionamiento de cada una de las mezclas es el que a continuación se indica.:

Concretos $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$

Cemento tipo II, modificado

Agregados D. F. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Arena de mina} \\ \text{grava de mina, tamaño max. } 3/4'' \text{ ó } 2'' \end{array} \right.$

1) Mezcla con 0 cm. de revenimiento

Cemento=12 kg.

Arena = 34 kg.

Grava = 43 kg.

Agua = 4.500 lts, ajustada para 0 cm. de revenimiento

2) Mezcla con 8 cm. de revenimiento

Cemento=13 kg.

Arena = 33 kg.

Grava = 39 kg.

Agua = 9.900 lts, ajustada para un revenimiento de 7.5 cm.

3) Mezcla con 16 cm. de revenimiento

Cemento = 14 kg.

Arena = 32 kg.

Grava = 36 kg.

Agua = 10.440 lts, ajustada para un revenimiento de 14 cm.

Todos los cilindros fueron curados en iguales condiciones, se ensayaron a compresión a los 28 días. Y se obtuvieron los pesos volumétricos de c/u, así como se les determinó la densidad y la absorción.

El procedimiento que se siguió en la preparación de los cilindros es el que a continuación se indica.

Preparación de las Mezclas. Primeramente se pesaron los materiales de cada una de las mezclas y se vaciaron en la revolvedora, agregando la cantidad de agua necesaria para cada revenimiento, como ya se mencionó, una vez que la mezcla tomó la contextura deseada se procedió a la determinación de la consistencia de cada una de las mezclas.

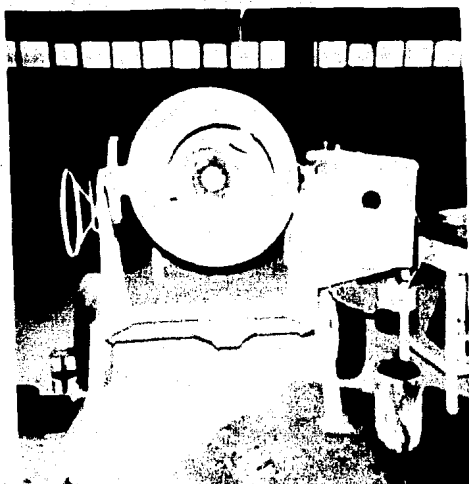


Fig. 21

Prueba de Revenimiento: Para efectuar esta prueba, fué necesario el auxilio de:

Una varilla de fierro redondo liso de $(5/8")$ de diámetro por 60 cm. de largo aprox.

Una regla de 30 cm.

Un cono truncado de lámina, de 20 cm. de diámetro inferior por 10 cm. de diámetro superior y 30 cm. de altura, provisto de asas y orejas para sujetarse durante la prueba, y

Un cucharón

Procedimiento:

La muestra de concreto fresco, fué extraída de la revolvedora, la cuál se colocó en el molde, sobre una lamina lisa, y sujetándolo con los pies. El concreto se virvió en el molde en tres capas, apisonando cada una 25 veces en toda el área. Al apisonar la 2a. y 3a. capas, se procuró que la varilla no penetrara mas de 2.5 cm en la capa anterior.



Fig. 22

Una vez que se llenó el molde, se enrasó con la varilla, para que inmediatamente se levantara el molde, sujetándolo de las asas y colocando en seguida el molde a un lado de la muestra de concreto para tomar la diferencia de altura del cono con respecto a la mezcla con la regla, obteniéndose así el revenimiento. Este procedimiento se repitió en cada una de las mezclas.



Fig. 23

En seguida se llenaron los cilindros con la mezcla de concreto obtenida, para cada revenimiento se llenaron 6 cilindros, de los cuáles 3 se picaron y 3 se vibraron como ya se mencionó anteriormente, con el procedimiento siguiente:

Cilindros compactados con Varilla: Se vertió la mezcla en cada uno de los cilindros en tres capas y se siguió el mismo procedimiento de picado que en el cono de la prueba de revenimiento.



Fig. 24

Cilindros Compactados con Vibrador: Se vertió el concreto en cada uno de los moldes por capas, la primera llenando hasta la mitad del cilindro y la segunda hasta llenar el cilindro completamente.

Se introdujo el vibrador en cada uno de los moldes, con distintos períodos de vibración, de acuerdo con el revenimiento de la mezcla. Para 0 cm. de revenimiento, se introdujo el vibrador en la mezcla tres veces con un tiempo aproximado de $\frac{1}{2}$ minuto por inmersión.

En la mezcla de revenimiento 7.5 cm. se introdujo el vibrador en tres ocasiones con un tiempo de 16 segundos por inmersión.

Y en la mezcla de revenimiento 14 cms. se introdujo el vibrador en tres ocasiones con un tiempo de 12 segundos por inmersión. En los tres casos se repitió el procedimiento para la segunda capa de concreto vertido en los moldes. El vibrador - que se utilizó para la prueba tenía una frecuencia de 12 000 rpm aproximadamente.

Para todos los cilindros vibrados, se procuró al compactar la 2a. capa que el vibrador no penetrara mas 2.5 cm. en la capa anteriormente compactada. Después de compactar la 2a. - capa, se enrasó el borde de cada cilindro, alisando la superficie.



Fig. 25

Determinación del peso Volumétrico: Se procedió al peso de todos los cilindros con el concreto fresco, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla No. 2. Inmediatamente fueron introducidos en el cuarto de curado, para que 24 horas después se procediera al descimbrado, y conforme se quitaba el molde, eran nuevamente introducidos en el cuarto de curado, para que allí permanecieran por 28 días.

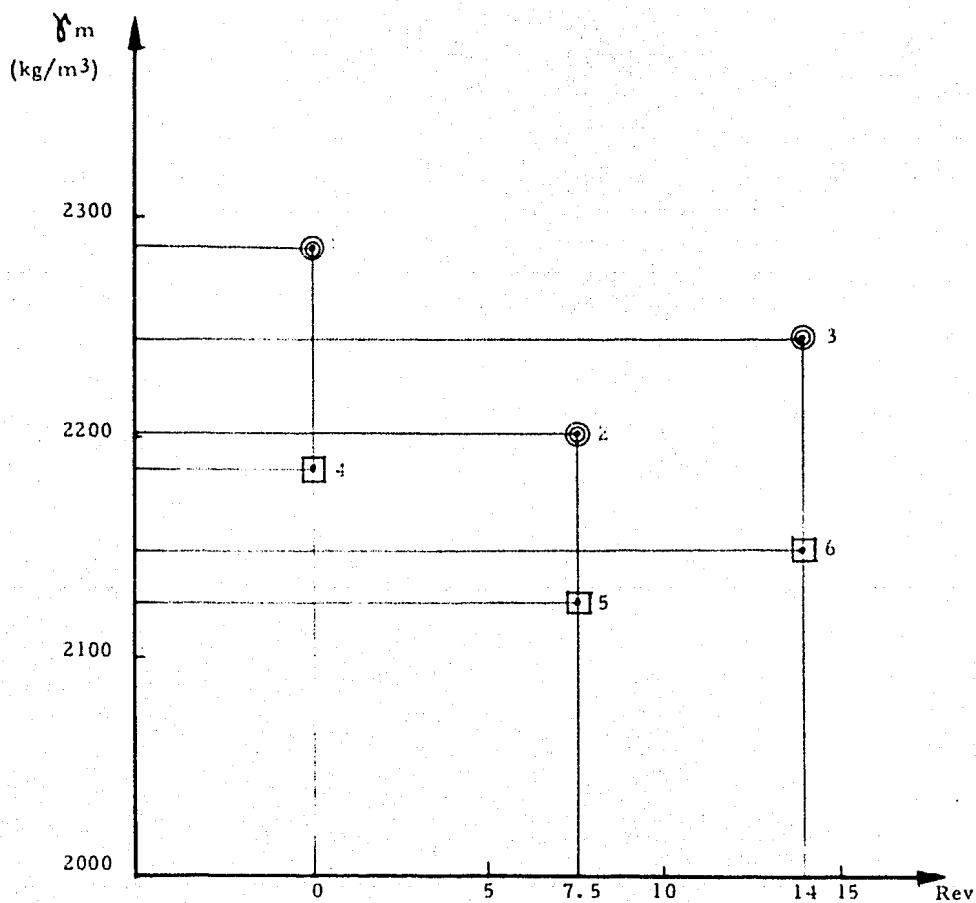
Determinación de la Densidad (en Estado Saturado): Una vez que los cilindros cumplieron los 28 días en el cuarto de curado, se sacaron para sumergirlos en agua durante 48 horas. Acto seguido, se pesaron en estado saturado previo secado superficial con una franela, obteniéndose además los pesos de los volúmenes desalojados. Los resultados obtenidos son los que se muestran en la tabla No. 3.

Tabla No. 2. - Determinación del Peso Volumetrico del C

Cilindro	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso Cilindro Kg	Pe Fr
1	15.20	30.50	181.366	5531.67	6.400	
2	15.20	30.50	181.366	5531.67	6.400	
3	15.30	30.50	183.761	5604.70	6.200	
4	15.20	30.50	181.366	5531.67	6.400	
5	15.40	30.50	186.170	5678.20	6.300	
6	15.20	30.70	181.366	5567.95	6.320	
7	16.10	31.70	203.480	6450.31	8.700	
8	16.10	31.80	203.480	6470.66	8.500	
9	16.00	31.50	200.960	6330.24	8.850	
10	16.10	31.80	203.480	6470.66	8.500	
11	16.00	31.70	200.960	6370.43	8.850	
12	16.10	31.70	203.480	6450.31	8.520	
13	16.00	31.80	200.960	6390.53	8.720	
14	16.00	31.70	200.960	6370.43	8.720	
15	16.00	31.80	200.960	6390.53	8.530	
16	16.00	31.80	200.960	6390.53	8.550	
17	15.20	30.50	181.366	5531.67	6.500	
18	15.20	30.70	181.366	5567.95	6.420	

n del Peso Volumetrico del Concreto Fresco

men n3)	Peso Cilindro Kg	Peso Concreto Fresco kg	$\gamma_m = w_m/V_m$ (kg/m ³)	Tipo Compactado	Reveni miento
1. 67	6. 400	12. 200	2205. 40	Varillado	0 cm
1. 67	6. 400	12. 200	2205. 40		
4. 70	6. 200	12. 030	2146. 40	Vibrado	
1. 67	6. 400	12. 720	2299. 40		
8. 20	6. 300	12. 850	2263. 00		
7. 95	6. 320	12. 780	2295. 20		
0. 31	8. 700	13. 620	2111. 50	Varillado	7. 5 cm
0. 66	8. 500	13. 680	2114. 10		
0. 24	8. 850	13. 600	2148. 40	Vibrado	
0. 66	8. 500	14. 920	2305. 70		
0. 43	8. 850	13. 850	2174. 10		
0. 31	8. 520	13. 700	2123. 90		
0. 53	8. 720	13. 610	2129. 70	Varillado	14 cm
0. 43	8. 720	13. 720	2153. 70		
0. 53	8. 530	13. 820	2162. 50	Vibrado	
0. 53	8. 550	13. 800	2159. 40		
1. 67	6. 500	12. 500	2259. 70		
7. 95	6. 420	12. 880	2313. 20		



Gráfica Peso Volumétrico - Revenimiento

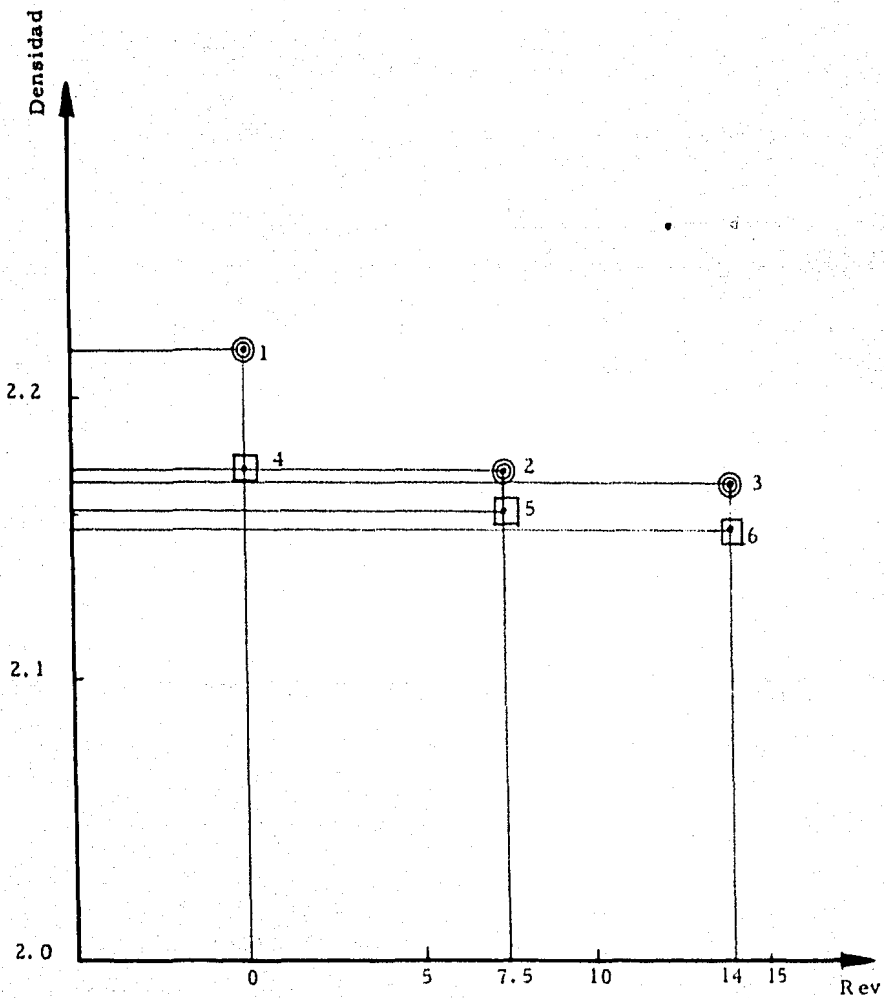
1, 2 y 3 Concreto Vibrado

4, 5 y 6 Concreto Varillado

Tabla No. 3.- Determinación de la Densidad

Cilindro	Peso Saturado Superficialmente Seco (kg)	Peso Sumergido (kg)	Peso Volu- men Desalo- jado (kg)	Densidad	Tipo Compactado	Reveni- miento (cm)
1	11.610	6.270	5.340	2.174	Varillado	0
2	11.525	6.240	5.285	2.180		
3	11.515	6.210	5.305	2.170		
4	12.122	6.655	5.467	2.217		
5	12.255	6.735	5.520	2.220	Vibrado	
6	12.130	6.655	5.475	2.215		
7	13.552	7.260	6.292	2.153	Varillado	7.5
8	13.645	7.320	6.326	2.157		
9	13.633	7.350	6.283	2.169		
10	13.755	7.440	6.315	2.178	Vibrado	
11	13.730	7.442	6.288	2.183		
12	13.472	7.242	6.230	2.162		
13	13.527	7.247	6.280	2.153	Varillado	14
14	13.670	7.315	6.355	2.151		
15	13.698	7.350	6.348	2.157		
16	13.710	7.365	6.345	2.160	Vibrado	
17	11.948	6.445	5.503	2.171		
18	12.155	6.580	5.575	2.180		

$$S_m = \frac{\text{Peso Saturado}}{\text{Vol. Desalojado}}$$



Gráfica Densidad-Revenimiento

1, 2 y 3 Concreto Vibrado

4, 5 y 6 Concreto Varillado



Fig. 27



Fig. 28

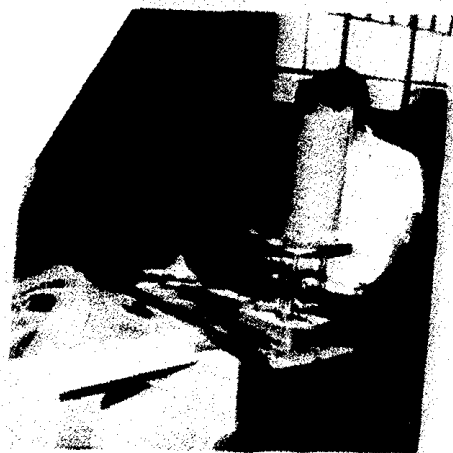


Fig. 26.

Determinación del % de Absorción: Para la determinación del % de absorción, fue necesario secar los cilindros a peso constante; para ello permanecieron en el horno durante 72 horas a una temperatura de $90-100^{\circ}\text{C}$. Posteriormente se pesaron nuevamente todos los cilindros en estado seco, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla No. 4.

Preparación de las bases de los cilindros:

Forma como se procedió. - Se sacaron del cuarte de curado uno por uno y se secaron superficialmente.

Se dispuso de una placa maquinada con depresión en el centro, y debidamente engrasada sobre una superficie a nivel.

Se vertió sobre ésta una mezcla fundida de azufre, hasta

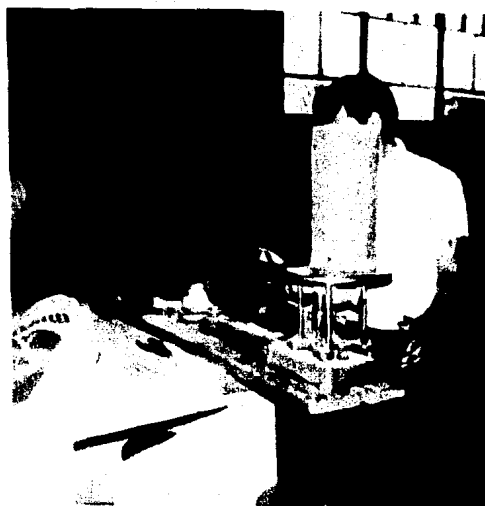


Fig. 26

Determinación del % de Absorción: Para la determinación del % de absorción, fué necesario secar los cilindros a peso constante; para ello permanecieron en el horno durante 72 horas a una temperatura de 90-100°C. Posteriormente se pesaron nuevamente todos los cilindros en estado seco, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla No. 4.

Preparación de las bases de los cilindros:

Forma como se procedió. - Se sacaron del cuarto de curado uno por uno y se secaron superficialmente.

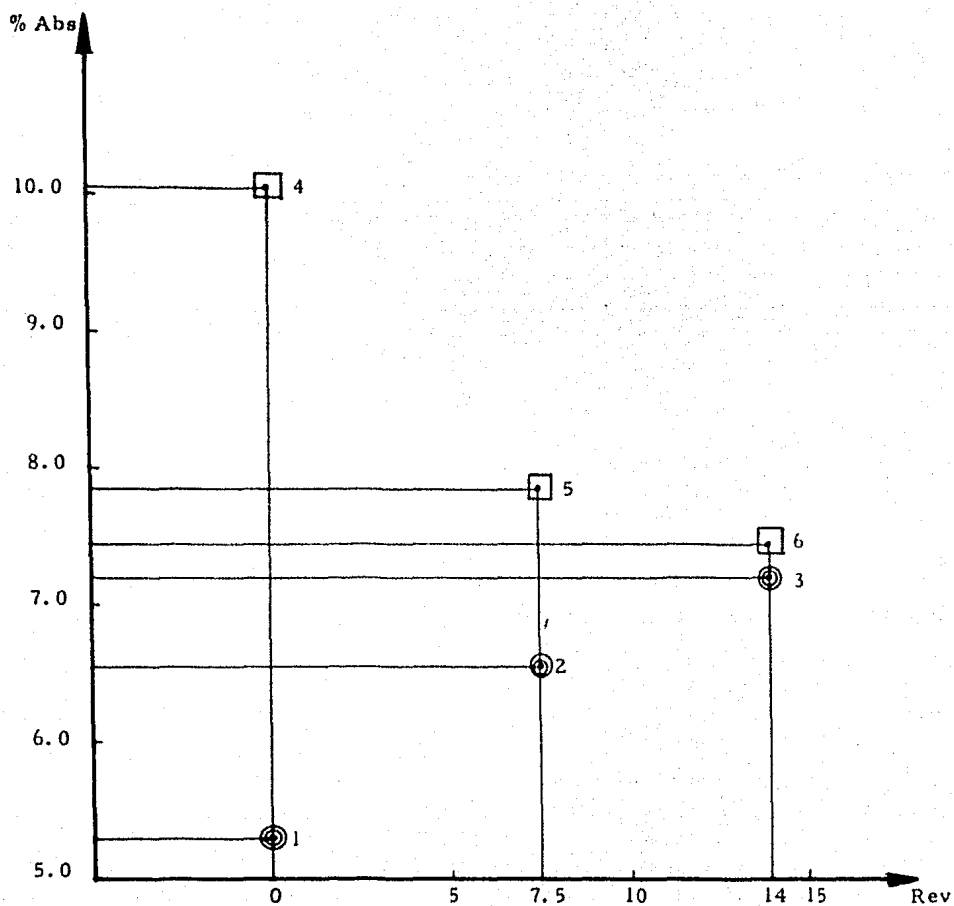
Se dispuso de una placa maquinada con depresión en el centro, y debidamente engrasada sobre una superficie a nivel.

Se virtió sobre ésta una mezcla fundida de azufre, hasta

Tabla No. 4. - Determinación del % de Absorción

Cilindro	Peso Saturado (kg)	Peso Seco (kg)	% de Absorción	Tipo Compactado	Revenimiento
1	11.610	10.500	10.57	Varillado	0 cm
2	11.525	10.458	10.20		
3	11.515	10.530	9.35		
4	12.122	11.468	5.70	Vibrado	
5	12.255	11.655	5.15		
6	12.130	11.555	4.98		
7	13.552	12.760	6.21	Varillado	7.5 cm
8	13.645	12.467	9.45		
9	13.633	12.640	7.86		
10	13.755	12.870	6.88	Vibrado	
11	13.730	12.897	6.46		
12	13.472	12.680	6.25		
13	13.527	12.697	6.54	Varillado	14 cm
14	13.670	12.700	7.64		
15	13.698	12.755	7.39		
16	13.710	12.794	7.16	Vibrado	
17	11.948	11.125	7.40		
18	12.155	11.283	7.73		

$$\% \text{ de Abs} = \frac{\text{Peso Sat.} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$



Gráfica Absorción - Revenimiento

1, 2 y 3 Concreto Vibrado

4, 5 y 6 Concreto Varillado

llenar aproximadamente $1/3$ de la placa. Inmediatamente después se colocó el cilindro, el cual se presionó contra la placa y se dejó a que se enfriara la mezcla de azufre.

Se golpeó ligeramente con una martillo ahulado la placa para despegar de ella la mezcla de azufre.



Fig. 29

Los cilindros que se cabecearon para ser probados a compresión fueron un par de cada tercio, o sea dos compactados con varilla y dos vibrados, haciendo un total de 12 cilindros, correspondiendo un total de 4 por cada una de las mezclas.

Los 6 restantes no fueron cabeceados y la prueba que se realizó con ellos fué la conocida como "Prueba Brasileña".

Ruptura de Cilindros. - Los cilindros que se probaron a compresión se sacaron uno a uno del cuarto de curado después - de haber permanecido en dicho lugar por 40 horas.

Procedimiento. - Cada uno de los cilindros se colocó en la mesa de la máquina, procurando que quedaran bien centrados.

Se observó que en la máquina de compresión, la aguja - marcara cero sobre la carátula.

Se puso a funcionar la máquina de modo que el cilindro de prueba se aproximara lentamente a la cabeza de carga, hasta encontrar apoyo completo sin ocasionar choque.

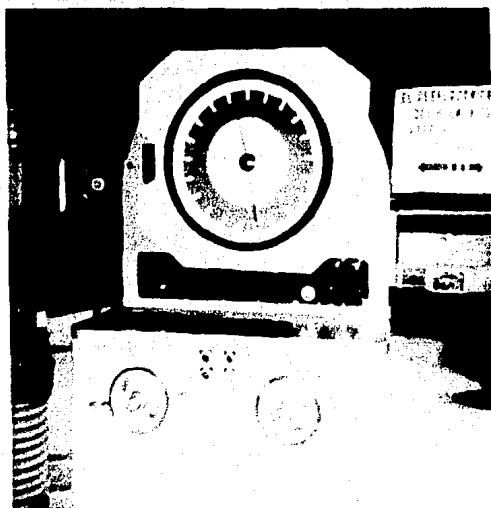


Fig. 30

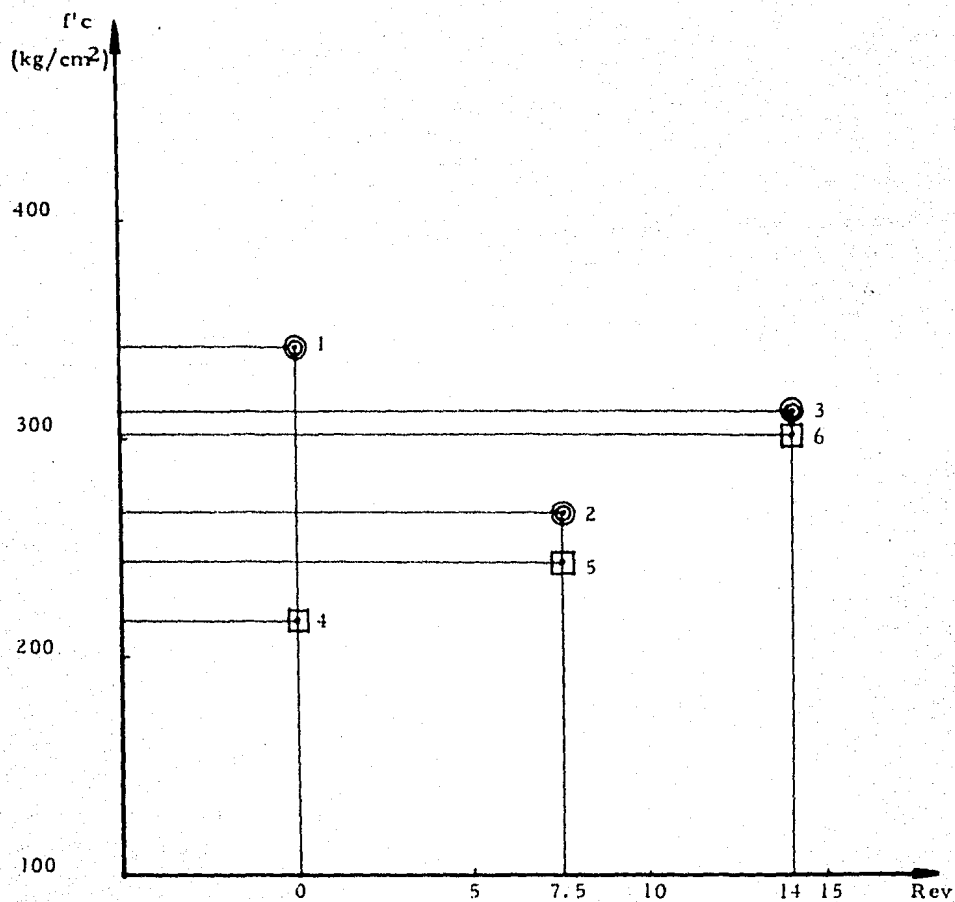
Tabla No. 5.- Ensayo de Cilindros a Compresión

Revenimiento	Tipo Compactación	Cilindro	Carga de Ruptura (Ton)	f'c (kg/cm ²)
0 cm	Varillado	1	39.600	218.34
		2	39.200	216.14
	Vibrado	4	62.600	345.16
		5	63.000	338.40
7.5 cm	Varillado	7	50.000	245.72
		8	48.800	239.83
	Vibrado	10	53.500	262.93
		11	54.100	269.21
14 cm	Varillado	13	60.200	299.56
		14	60.800	302.55
	Vibrado	16	60.000	298.57
		17	59.000	325.31

$$f'c = \frac{P}{S}$$

El Area de cada cilindro se localiza en la tabla No. 2

La representación gráfica de estos valores obtenidos, se muestran a continuación



Gráfica Ensayo Cilindros a Compresión

1, 2 y 3 Concreto Vibrado

4, 5 y 6 Concreto Varillado



Fig. 31

Se aplicó la carga uniformemente a razón de 20 Ton/min. de acuerdo a las especificaciones del ASTM-C-39, hasta la falla del espécimen, registrandose los resultados obtenidos en la tabla No. 5

PRUEBA DE TENSION INDIRECTA.- Esta prueba consiste en el ensaye de un cilindro estándar de concreto, como se muestra en la figura, al cual se le aplica una carga de compresión uniformemente distribuida, según dos generatrices diametralmente opuestas.

En estas condiciones, se produce en el área del espécimen - la distribución de esfuerzos que se indica en dicha figura. Se observa que en la cercanía de los puntos de aplicación de las cargas, hasta una distancia que no excede de $1/12$ del diámetro en cada extremo, se generan esfuerzos de compresión cuya mag -

nitud se incrementa rapidamente hasta alcanzar un valor bastante alto, y que en los 5/6 restantes de la misma área aparecen esfuerzos de tensión de magnitud practicamente constantes.

Como los esfuerzos de compresión, normalmente no alcanzan a producir la falla del concreto, la ruptura del espécimen se debe a los esfuerzos de tensión, cuya magnitud está dada por:

$$T = \frac{2 P}{\pi l d}$$

donde:

T= resistencia a la tensión por compresión diametral

en kg/cm²

P= Carga máxima aplicada al espécimen, en cm.

l= longitud del espécimen, en cm.

d= diámetro del espécimen, en cm.

La velocidad de carga que se aplica al espécimen varía entre 7 y 14 kg/cm²/min según especificaciones del ASTM, por lo que para la prueba de los 6 cilindros restantes se consideró una velocidad de carga de:

$$7 = \frac{2 P}{(30)(15)\pi} \quad - - - (1)$$

$$14 = \frac{2 P}{(30)(15)\pi} \quad - - - (2)$$

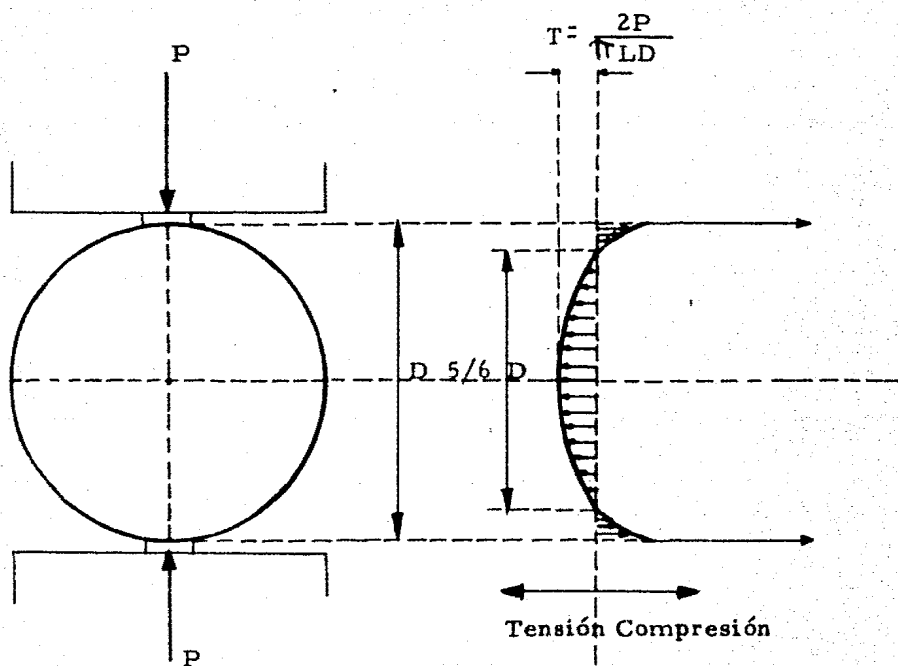
de la ecuación (1), despejando a P tenemos:

$$P = \frac{(30)(15)}{2} \cdot 7 = 4900 \text{ kg/min}$$

De la ecuación (2), despejando a P, tenemos:

$$P = \frac{(30)(15)}{2} \cdot 14 = 9800 \text{ kg/min}$$

∴ La velocidad de carga se consideró de 7 Ton/min



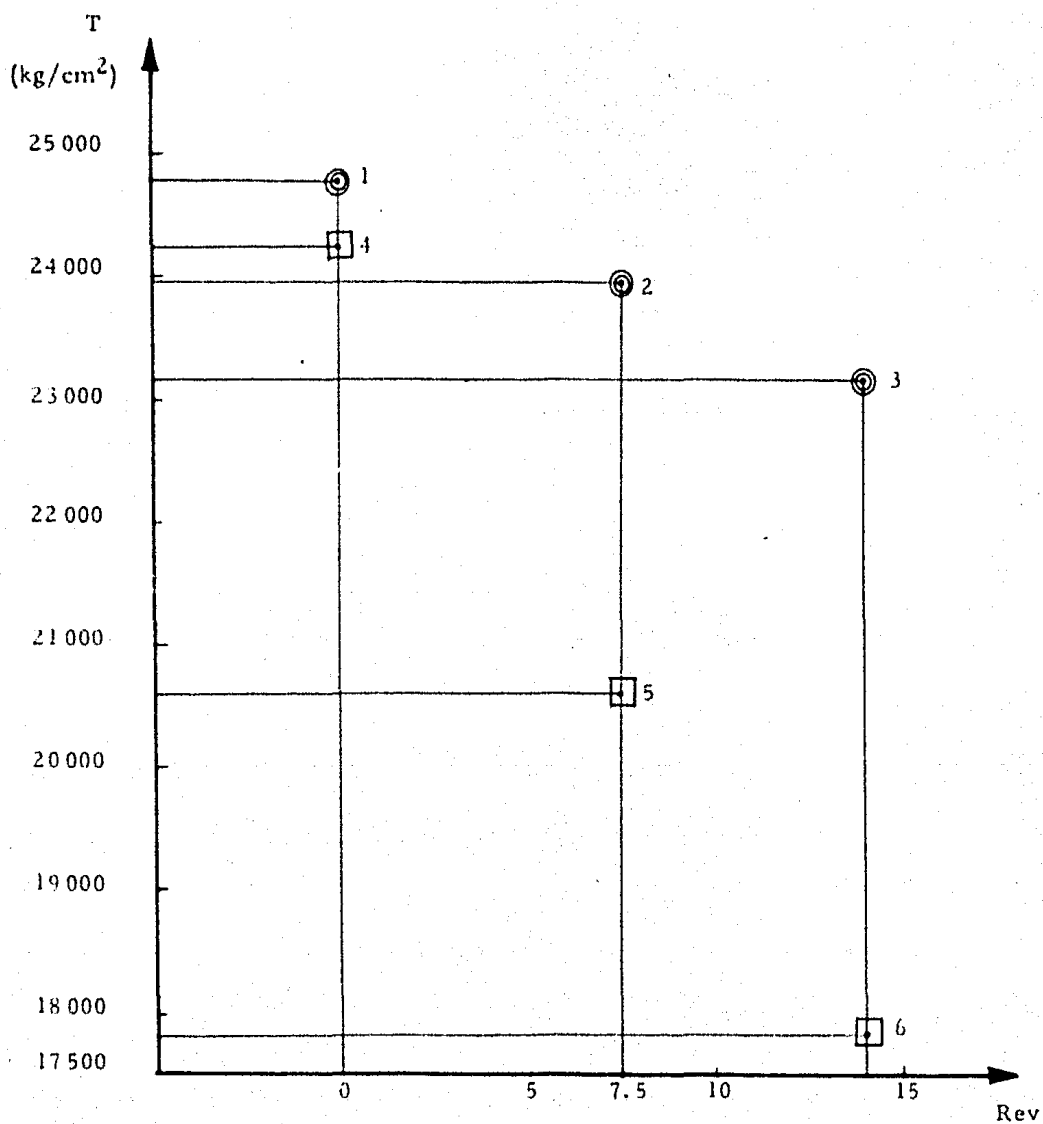
Para el cálculo de la resistencia a tensión en la prueba indirecta, se supone que el concreto es elástico y que existe un estado plano de esfuerzos, los resultados obtenidos de esta prueba se muestran en la tabla No. 6.

En la actualidad la prueba indirecta se emplea con bastante frecuencia debido a que su ejecución es sencilla, no requiere de equipo especial y sus resultados presentan menos dispersión que en los otros procedimientos.

Tabla No. 6. - Prueba de Tensión Indirecta

Cilindro No.	Revenimiento	Tipo de Compactado	Carga Ruptura (Ton)	Diámetro cm.	Longitud cm.	T(kg/cm ²)
3	0 cm	Varillado	18.150	15.30	30.50	24.773
6		Vibrado	17.750	15.20	30.70	24.228
9	7.5 cm	Varillado	16.300	16.00	31.50	20.600
12		Vibrado	19.200	16.10	31.70	23.962
15	14 cm	Varillado	18.500	16.00	31.80	23.159
18		Vibrado	13.050	15.20	30.70	17.813

$$T = \frac{2P}{\pi l d}$$



Gráfica Prueba Tensión Indirecta

1, 2 y 3 Concreto Vibrado

4, 5 y 6 Concreto varillado

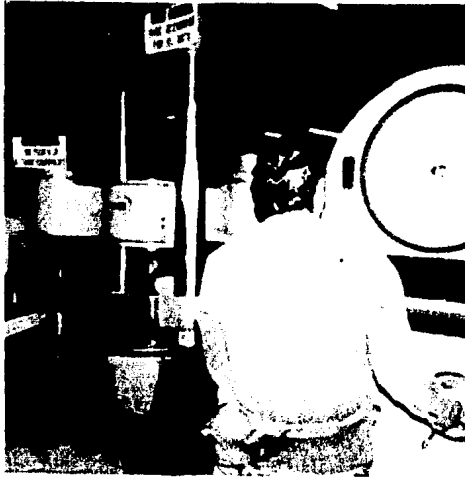


Fig. 33

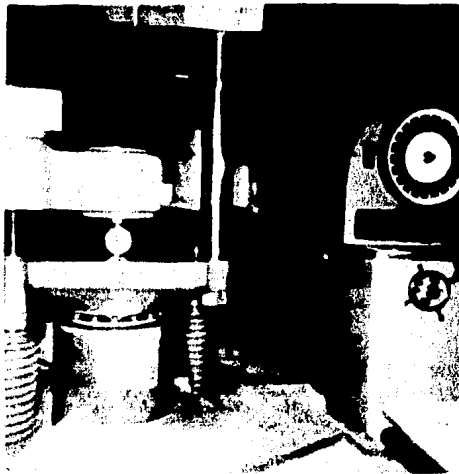


Fig. 34

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Se ha observado que para asegurar una consolidación libre de huecos en los moldes o encofrados, es necesario que el concreto sea trabajable, midiendo en la obra por medio de la prueba de revenimiento, la trabajabilidad del concreto. El revenimiento puede lograrse que sea pequeño con el uso de los vibradores. La consolidación del concreto es indispensable para asegurar que los elementos que lo constituyen estén distribuidos adecuadamente en el molde que se ha de colar, llenando todos los huecos y cubriendo al refuerzo y otros elementos contenidos en el concreto.

De los resultados obtenidos en el laboratorio se concluye que la resistencia del concreto está en función de la relación cemento-agua-Vibrado, ya que las observaciones físicas del comportamiento del concreto, así como las mecánicas, fueron las siguientes:

Con la determinación del Peso Volumétrico, se obtuvo en promedio que para el concreto vibrado el peso volumétrico siempre fué más alto para cada revenimiento, que para el concreto varillado, lo que nos da un índice de un mejor acomodo de las

partículas y existencia de menor cantidad de huecos.

Con la determinación de la Densidad, se demostró que el concreto vibrado es más denso que el concreto varillado, como consecuencia las mezclas quedan más compactas, más apretadas, más pesadas con relación a su volumen.

Finalmente se observó que el concreto varillado absorbe más cantidad de agua, debido a la mayor cantidad de huecos que existen y por consiguiente el concreto vibrado tiene menor porcentaje de absorción, por lo que se llega a la conclusión de lo ya dicho anteriormente en las pruebas de Densidad y Peso Volumétrico.

De las observaciones mecánicas obtenidas, se desprende que la consolidación del concreto por medio de la vibración, presenta una mayor resistencia y esto se dedujo tanto en la Prueba a Compresión de los cilindros, como en la de Tensión Indirecta, además se presenta un incremento de adherencia con el refuerzo, así como mayor adherencia en las juntas de construcción; se reducen los cambios de volumen o contracciones; mayor durabilidad de las estructuras; y disminución del costo del concreto, ya que se logra mayor facilidad de colocación y reducción del contenido de cemento.

La industria del concreto vibrado debe pues perfeccionarse absolutamente. Para lo cual es necesario que los esfuerzos que se realicen, así como los resultados que se obtengan en los laboratorios sean conocidos y sirvan de base para nuevas investigaciones científicas.

BIBLIOGRAFIA

"GUIA PRACTICA de la VIBRACION de HORMIGONES". - P. Rebut

Editores Técnicos Asociados, S. A. - Barcelona-España-1965

"TEORIA ELEMENTAL del CONCRETO REFORZADO". - Phil M. Ferguson

"INSTRUCTIVO PARA CONCRETO". - Sría. de Recursos Hidráulicos. -

Dirección de proyectos. - Depto. de Ingeniería Experimental. - México 1967

"MANUAL de CONCRETO PARTE I". - Sría. de Recursos Hidráulicos. -

Dirección de Proyectos. - Depto. de Ingeniería Experimental. - México 1970

"CONSOLIDACION DEL CONCRETO". - Reporte del Comité ACI 609

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.

"TRATADO de CONSTRUCCION". - Tomo Primero. - Ing. Antonio Miguel

Saad. - Compañía Editorial Continental, S. A. México-España-Argentina-Chile

"CONSTRUCCION Y CONTROL DE CALIDAD DE OBRAS DE CONCRETO". -

Ing. Marcos J. Faradji. - Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto,

A. C. - 1972-1973.