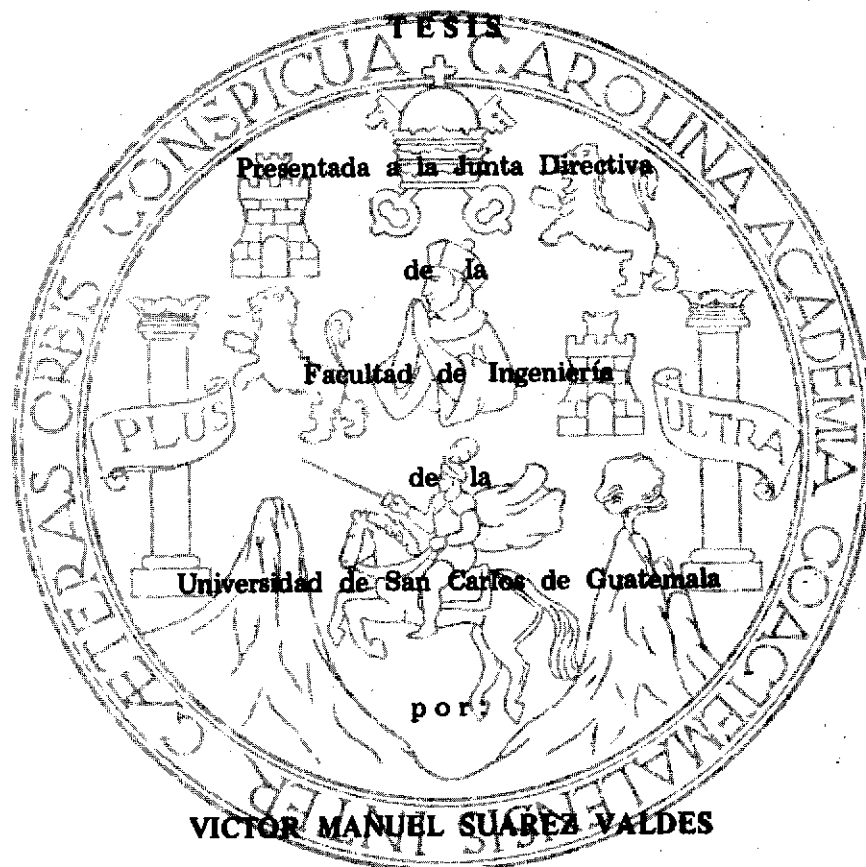


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

"MESAS VIBRATORIAS PARA PREFABRICADOS DE CONCRETO"



al conferírsele el título de:

INGENIERO CIVIL

Guatemala, junio de 1977

21

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

DECANO:	Ing. Raúl Molina Mejía
VOCAL PRIMERO:	Ing. Julio Campos Bonilla
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Julio Roberto Barrios
VOCAL TERCERO:	Ing. Leonel Aguilar Girón
VOCAL CUARTO:	Br. Jorge V. Guzmán Botrán
VOCAL QUINTO:	Br. Felipe Alejandro Berganza
SECRETARIO:	Ing. Carlos E. Cabrera

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO:	Ing. Raúl Molina Mejía
EXAMINADOR:	Ing. Mario Domingo Samayoa F.
EXAMINADOR:	Ing. José Luis Robles
EXAMINADOR:	Ing. Carlos H. Calderón C.
SECRETARIO:	Ing. Carlos E. Cabrera

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

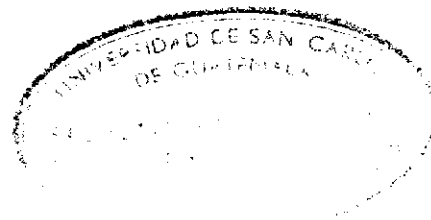
Cumpliendo con lo establecido por la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo
el honor de someter a vuestra
consideración, mi trabajo de tesis titulado:

“MESAS VIBRATORIAS PARA PREFABRICADOS DE CONCRETO”

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

INDICE

	Página
Motivación	1
Capítulo I. Introducción	3
1.1 Objeto de la Vibración	3
1.2 Fuerzas	4
1.3 Movimientos Vibratorios	5
Capítulo II. Transmisión de la Vibración en el Concreto	9
2.1 Transmisión de la Vibración	9
2.2 Influencia de la Frecuencia	10
2.3 Influencia de la Dirección de la Vibración	13
2.4 Influencia de la Fuerza del Vibrador Externo	14
Capítulo III. Mesas Vibradoras	15
3.1 Tecnología de la Mesa Vibradora	15
3.1.1 Plataforma de la Mesa	15
3.1.2 Apoyos Elásticos	18
3.1.3 Pies	22
3.1.4 Base de la Mesa	22
3.1.5 Posición del Vibrador bajo la Mesa	23
3.2 Cómo Sujetar los Moldes a la Mesa	25
3.2.1 Discusión de la Necesidad de Sujetar los Moldes	25
3.2.2 Descripción de los Sistemas de Sujeción	34
Capítulo IV. Conclusiones Generales	41
Capítulo V. Recomendaciones Finales	43
Capítulo VI. Bibliografía	45



MOTIVACION

El presente trabajo trata de exponer el por qué de la importancia de la vibración en los artículos prefabricados. Debido al gran desarrollo y en general la necesidad de incrementar cada día más la industrialización de los derivados del cemento por ser hasta hoy día los mejores y más económicos auxiliares de la construcción.

Aquí se revelan algunos detalles muy importantes para el buen logro de un equipo adecuado y así obtener un producto de alta calidad, digno de ostentar una marca respetable. Claro está que no es solución a los problemas que tengan los fabricantes ya que la mayoría de éstos radica en las personas que manejan las máquinas y no en los equipos en sí.

Si observamos con detenimiento las múltiples aplicaciones que se le puede dar a una mesa vibradora nos podremos dar aún mejor cuenta de la importancia o el interés de un estudio de esta naturaleza; en una mesa vibradora se pueden fabricar, con los moldes adecuados, vigas, losas, blocks, adoquines, postes para cercado, postes para electricidad, columnas, tubería para desagüe, adornos arquitectónicos, celosías, etc., y así un sinnúmero de artículos prefabricados que facilitan la tarea del Ingeniero.

Es mi mayor deseo que el trabajo que a continuación expongo sea de algún valor para aquéllos que buscan información sobre el tema, persiguiendo mejores resultados acerca de este sistema de fabricación.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Objeto de la Vibración

La vibración es utilizada muy corrientemente para la fabricación de elementos y partes de construcciones en concreto. Es un elemento tan importante como las operaciones de:

Selección de los componentes (cemento, arena, piedra, grava, etc.)

Proporcionamiento según peso, volumen

Propiedades físicas: composición granulométrica, peso específico, pesos unitarios, aparentes, etc.

Mezclado de los componentes con máquina concretora a una amasadora, y

Colocación del concreto en los encofrados, formaleas o moldes según el caso.

La vibración del concreto es de suma importancia pues gracias a sus efectos se pueden mejorar en alto grado las otras condiciones de fabricación que hayan sufrido deficiencias durante el proceso de mezcla y selección. Claro está, es necesario aclarar que no es la solución de las imperfecciones que se pueden dar en las operaciones de preparación: presencia de impurezas, mala granulometría, falta de finos, mala proporción de mezclas, etc. Por lo contrario, las características de la vibración a emplear no se puede determinar perfectamente, sino sólo si conocemos todas las del concreto y sus componentes. La puesta en marcha de una fábrica industrial moderna exige necesariamente, un estudio profundo de todos los ciclos de fabricación, atendiendo en el estudio no sólo al tipo de concreto que queremos obtener sino que también en cuanto a las condiciones que debe presentar el concreto fresco en el trayecto de su elaboración: mezclado, transporte, vertido, desmoldeado, fraguado, etc.

Las ideas que la palabra "vibración" nos puede evocar son muchas y de muy diversas aplicaciones: radio, televisión, lavado, tamizado, compactado; la vibración se muestra en toda la naturaleza, y nunca se terminará de enumerar sus manifestaciones y fenómenos mecánicos que la producen.

Los efectos ampliamente comprobados en el concreto son, de hecho, una puesta en movimiento de los elementos que lo constituyen y una aproximación mutua entre ellos, de tal modo que el concreto sacado de la mezcladora sufre una contracción durante su aplicación. Estos efectos pueden variar particularmente en función del contenido de humedad de los elementos o de la mezcla completa. Un concreto fresco muy trabajable resulta lubricado por el agua en exceso y se sitúa muy fácilmente. Con la medida en que se disminuye la dosis de agua el concreto que sale de la mezcladora adopta diferentes aspectos: fluido normal, tierra húmeda, tierra o arenas poco humedecidas; con lo cual la cantidad de espacios vacíos aumenta y su colocación en los moldes resulta cada vez más difícil. Aquí es cuando se ve el efecto de la vibración, lo que era terroso e inconsistente adquiere apariencia y propiedades de un cuerpo de material plástico, en el que la viscosidad depende de las propiedades de los componentes del material y de las condiciones de la vibración. Cuando la vibración se suprime, queda detenida la movilidad de los elementos, pero se ha generado un cuerpo coherente, de concreto fresco, que adquirirá sus cualidades definitivas una vez fraguado el cemento. El concreto fresco en el caso en

que se tenga una baja dosificación en agua, es capaz de resistir a la compresión y a la tensión, de tal forma que un producto puesto en el molde bajo vibración puede sacarse de éste inmediatamente sin sufrir deformaciones importantes. La explicación de este efecto estriba en que la mutua aproximación de los conglomerados, origina una multitud de canales intersticiales llenos de agua que, por acción capilar, unen a los componentes entre sí. Además, la cristalización de los granos de cemento hidratados absorbe una parte de esa agua, resultando finalmente un entramado de uniones microscópicas.

La vibración resulta ser un papel muy importante en la preparación del concreto, siendo en muchos casos primordial. La experiencia ha demostrado que la resistencia final del concreto aumentaba mientras más se aproximaba el contenido de humedad al necesario exclusivamente para la cristalización del cemento, aproximadamente un 20 o/o en peso para el cemento portland. Aunque los porcentajes menores utilizados oscilan entre el 35 y el 40 o/o, los concretos tienen a la salida de la mezcladora de un 20 a 30 o/o de vacíos, obteniendo de estos, una vez fraguados, elementos con cuevas y poco resistentes. El compactado de estos elementos se hace indispensable para lograr una preparación en el concreto. La vibración produce el mejor resultado, no sólo cierra los elementos entre sí sino que asegura una mejor distribución del agua en la original "esponja arenosa", humedece la mayoría de los granos de cemento en el conjunto de la masa, favoreciendo la cristalización con el máximo rendimiento. No es, pues, mucho pretender al afirmar que sería imposible obtener, sin la vibración conveniente, concreto de alta resistencia partiendo de mezclas con el mínimo de agua.

He indicado ciertos efectos que la vibración produce y es muy interesante buscar sus causas. Una explicación clásica es la siguiente: los áridos se someten a movimientos diversos, deslizan unos sobre los otros y combinado con la acción de la gravedad, llenan los espacios vacíos, ubicándose de forma que constituyen un conjunto compacto. Por otra parte, la aproximación mutua de las partes finas, agua, cemento, arena, conducen a la formación de un mortero plástico vibrante, semejante a la pasta de dientes, a la que no se le puede variar en la forma o contextura sin un aporte de fuerzas apropiadas, con gran frecuencia mayores que la gravedad. Consideremos en principio muy conveniente centrar todo razonamiento sobre vibración, en la noción de fuerzas. Sólo el estudio de las fuerzas presentes en un sistema que vibra, puede permitir ver con toda claridad su complejidad y analizar poco a poco todos sus factores.

1.2 Fuerzas

La noción de fuerza es muy común, pero no obstante, para su mejor comprensión recordaremos muy brevemente los principios de definición:

a) Un punto material, aislado en el espacio, describe una trayectoria rectilínea y lo hace con velocidad uniforme.

b) Cuando el movimiento se perturba en velocidad o dirección, se dice que el punto M está sometido a la acción de una fuerza; las velocidades sufren entonces variaciones que se expresan por aceleraciones, las cuales definen la velocidad de variación de la velocidad.

c) Si dos puntos materiales M_1 y M_2 , aislados en el espacio, actúan uno sobre el otro por atracción o repulsión, la relación de aceleraciones es constante:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad \text{o sea :} \quad m_1 a_1 = m_2 a_2$$

la materia de un punto material se caracteriza por m , que es su masa. Por definición se llama fuerza al producto $F = m \cdot a$. Una fuerza está determinada por su valor, destino y punto de aplicación.

d) Si dos fuerzas $m_1 \cdot a_1$ y $m_2 \cdot a_2$ son iguales y opuestas, se les llama acción y reacción. Por extensión del concepto se llama también "fuerza" a la acción y reacción que comunicaría a un punto libre en el espacio, en estado de reposo, un movimiento de aceleración " a ". Este es caso de un cuerpo de masa " m " que se soporta en la mano, estando sometido a la acción de la gravedad; si se retira de repente la mano, el cuerpo cae con una aceleración " g ". De lo que se deduce que está sometido a una fuerza $m \cdot g = P$, siendo ésta su peso. La fuerza del brazo que mantiene el peso es la reacción.

¿Cuáles son las fuerzas que están presentes en una máquina vibradora destinada a la fabricación de piezas de concreto?

Existen:

a) Las fuerzas que resultan del movimiento de los cuerpos: movimientos oscilatorios de la mesa vibrante, movimientos del molde, movimientos de los áridos en el molde. Estas fuerzas son de la forma $m \cdot a$;

b) las fuerzas interiores: fricción de las piedras que se acunian por las asperezas de la superficie, fricción interna de las venas del mortero con motivo de su colocación o deformación;

c) la gravedad;

d) las fuerzas exteriores de compresión.

Cada una de estas fuerzas da origen a estudios de diferente naturaleza matemática o física y su importancia no puede escapar a los ojos de conocedores.

1.3 Movimientos Vibratorios

1.3.1 El movimiento periódico

Se dice que el movimiento de un cuerpo es periódico, y tiene por constante positiva el valor " T ", si cualquiera que sea su valor de tiempo " t " el cuerpo se vuelve a encontrar en el instante " $T + t$ " exactamente en el mismo estado en que estaba en el instante " t ", es decir que se encontrarán en las mismas condiciones de forma, posición y velocidad de las diversas partes del cuerpo. Cuando el período es corto, se confunden ordinariamente los términos "movimiento periódico" y "movimiento vibratorio".

Las representaciones cartesianas del movimiento, en función del tiempo y desplazamientos, son curvas periódicas formadas por arcos iguales.

Un desplazamiento paralelo al eje de tiempos y de valor " T " conduce a la superposición de un arco con el siguiente, como el de las curvas de la figura 1.

1.3.2 Función sinusoidal

La más sencilla de las funciones periódicas es la función sinusoidal o armónica; la cual representa el movimiento de la proyección de un punto " M " que describe una circunferencia con velocidad constante. (Fig. 2)

La Amplitud

Al variar "t", la ordenada "y" varía entre "a" y "-a". Dándole a "a" la denominación de amplitud (se llamará amplitud total o elongación total al valor "2a").

La Frecuencia

Es el número de períodos por segundo, $f = n = 1/T$, definido también por el número de vueltas completas que da la masa "M" en un segundo.

Velocidad angular o pulsación "w" (Omega)

La medida de un ángulo de vértice "O" es igual a la medida del arco de circunferencia de centro "O" comprendido entre sus lados, cuando se toma por unidad el radio "R". La unidad de ángulo se llamará "radián" y en una circunferencia (ángulo de 360°) hay: $\frac{2\pi R}{R} = 2\pi$ radianes.

Si el punto "M" da "n" vueltas por segundo, su velocidad angular es igual a 2π radianes = w, durante un tiempo "t", el punto describe el ángulo "wt".

Ejemplo:

Para un vibrador eléctrico de frecuencia a 60 Hz y la velocidad angular $w = 2\pi \cdot 60 = 120\pi$.

Ecuaciones del movimiento armónico:

Elongación	$y = a \sin wt$
Velocidad	$v = +aw \cos wt$
Aceleración	$Y = -aw^2 \sin wt$

Series de Fourier

La importancia del conocimiento de la función sinusoidal, se pone de manifiesto inmediatamente. Un cuerpo, cuyo movimiento sea armónico, está sometido a aceleraciones "Y", cuyas fuerzas m . Y son calculables:

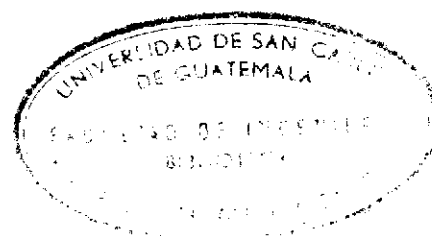
Pero su interés no sólo es éste, y se ve porque se hace aún mayor cuando se sabe que todo movimiento periódico puede ser considerado como la suma de movimientos sinusoidales. Como ejemplo de lo anterior: $y = 4 \sin wt + 2 \sin 2wt$, suma de dos movimientos armónicos. (Fig. 3)

Inversamente, toda curva periódica de pulsación w, se puede descomponer en una serie de sinusoides de pulsación w, w2, 3w, , a la que se le da el nombre de serie de Fourier y su expresión matemática es:

$$y = Y_1 \sin wt + Y_2 \sin 2wt + \dots + Y_n \sin nwt.$$

$$b_0 + b_1 \cos wt + b_2 \cos 2wt + \dots + b_n \cos nwt$$

donde b_0 es la altura de una línea horizontal que hace que las áreas comprendidas entre ella y las curvas superior e inferior sean iguales.



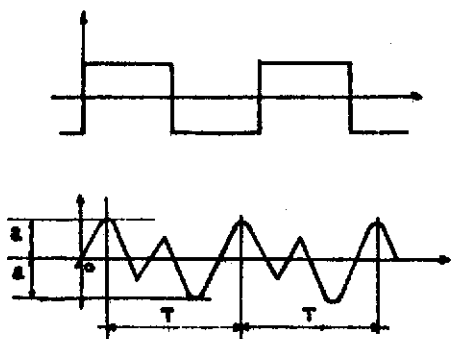


Fig. 1
Curva de un movimiento periódico

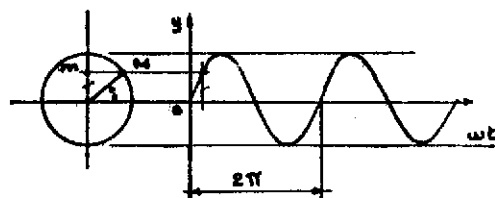


Fig. 2
Curva de un movimiento sinusoidal

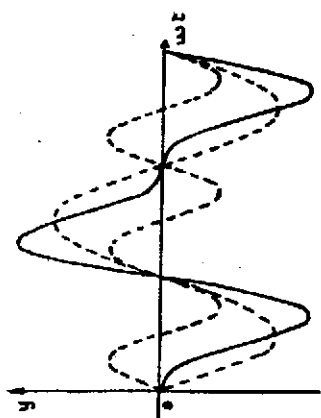


Fig. 3
Movimiento armónico de período
de pulsación ω compuesto por dos
movimientos armónicos

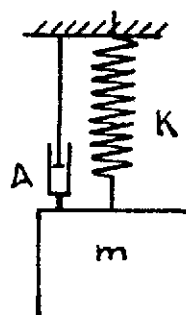


Fig. 4
Vibración de un cuerpo
elástico frenado

CAPITULO II

TRANSMISION DE LA VIBRACION EN EL CONCRETO

2.1 Transmisión de la Vibración

Hemos visto que el juego de fuerzas alternativas desarrolladas en una masa de concreto por la acción de un vibrador, provoca la compactación de los áridos. Antes de describir diversas aplicaciones, es conveniente que observemos cómo se desarrollan prácticamente en el concreto, los fenómenos de vibración que anteriormente presentamos bajo su aspecto matemático.

Es necesario decir, que estos fenómenos varían constantemente, desde el comienzo de la vibración hasta el momento en que todos los elementos del concreto, incluyendo el agua, se encuentren en contacto íntimo y que el estudio de las diferentes fases del compactado es consecuencia exclusivamente de las observaciones de orden tecnológico. Las cuales nos llevan a considerar la composición del concreto, la frecuencia de las vibraciones, su dirección, su amplitud.

Para nuestra demostración observemos lo que ocurre en una artesa equipada con un vibrador y llena de un concreto amasado pero no compactado. Al comienzo de la operación, una gran parte de los áridos reposan unos sobre los otros dejando entre sí muchos vacíos. El movimiento alternativo del molde se transmite a estos áridos no importa cual sea su forma, produciendo una primera dislocación que presenta unos aspectos muy diversos según la granulometría y el contenido de agua.

Con un producto seco y una fuerza motriz lo suficientemente grande, la vibración provoca expansiones y movimientos semejantes a los producidos sobre un tamiz vibratorio; de hecho, resulta casi imposible aglomerar concreto seco bajo la única acción de la vibración.

Por el contrario, la presencia de una cantidad de agua suficiente, modifica el problema, por un lado, puesto que es un elemento transmisor de las ondas de vibración y por el otro, porque con la arena y el cemento, se forma un mortero dotado de fuerzas elásticas que engloba a los áridos y forma una resistencia a las fuerzas de expansión.

Vemos, pues, que la transmisión de las ondas vibratorias pueden realizarse de diferentes modos. De una manera general, se efectúa a través de los elementos por una serie de deformaciones elásticas acompañadas de un aumento de energía potencial que se transforma en energía cinética. De otra manera, si se trata de áridos gruesos, éstos chocan entre sí, aplastándose muy ligeramente para volver a adquirir su forma al rebotar; en cuanto al agua, las láminas del líquido se contraen y se dilatan formando ondas esféricas o longitudinales según el estado de compactación del concreto. Es de gran importancia señalar que los flúidos sólo transmiten vibraciones longitudinales.

En la primera fase de fabricación se aprecia la aparición de un compactado de áridos y la formación de vetas de concreto viscoso.

En una segunda fase, la parte viscosa del concreto aumenta y se compacta, en tanto que

los áridos se sumergen en la pasta, contribuyendo a compactarla más, si la pasta es lo suficientemente fluida, los áridos gruesos descienden y se agrupan en el fondo del molde, este fenómeno es conocido por segregación. Por el contrario, si la pasta posee suficiente viscosidad, adquiere al poco tiempo una estabilidad que corresponde al equilibrio entre las fuerzas de viscosidad y de fricción interna de una parte y de otra las fuerzas desarrolladas por la vibración de todos los elementos. En este estado, la superficie del concreto está húmeda y brillante, y su contextura ofrece un aspecto de tixotropía particular: el hundimiento local de la superficie bajo la simple acción de la mano provoca una elevación equivalente de la superficie en otra zona de ella. Es en este momento cuando está listo para el desmoldeo y con condiciones de adquirir sus más importantes condiciones de resistencia.

En la mayoría de los casos esto último es lo que más le interesa al constructor, pero por lo menos siempre tiene interés lograr en el menor tiempo posible un relleno completo; por lo que conviene analizar la influencia que ejerce cada una de las condiciones de la vibración.

2.2 Influencia de la frecuencia

Se dice con frecuencia y muy impropiamente que las vibraciones de frecuencia media actúan sobre los granos más gruesos y que las altas frecuencias sobre los de menor masa y volumen. Pero presentada bajo este aspecto la observación es incompleta.

Basta con que observemos los movimientos de un concreto en un molde que se encuentra sometido a frecuencias del orden de 6,000 revoluciones por minuto, con una fuerza de 30 gr. y una amplitud de 6 a 7 décimas de milímetro y veremos a los áridos bailar desenfrenadamente no importando su diámetro, volumen o forma.

Por el contrario, en el caso de una vibración de débil aceleración, pueden producirse fenómenos de resonancia en el complejo constituido por el mortero y los áridos.

Todo lo expuesto anteriormente, merece algunas explicaciones. Recordemos brevemente las conocidas leyes del movimiento oscilatorio de un cuerpo de masa "m" suspendido de un resorte que tiene por característica el valor "K" frenado y sometido a la aceleración de una vibración forzada.

En la figura se representa una masa "m" colgada de un resorte "K" pero cuyo movimiento resulta frenado por un amortiguador "C". Generalmente la fuerza de amortiguamiento es proporcional a la velocidad de desplazamiento y por tanto podemos escribir: $A = C \cdot v$. (Figuras 4 y 5)

Si separamos el cuerpo de su posición de equilibrio y lo soltamos de forma que se originen vibraciones libres con una resistencia viscosa, el movimiento resultante puede tomar diferentes aspectos. Cuando el coeficiente "C" al que llamamos coeficiente de resistencia viscosa es muy grande, el cuerpo desplazado vuelve a su posición inicial lentamente.

Cuando "C" es pequeño, el cuerpo vuelve a su posición de equilibrio después de una serie de oscilaciones de amplitudes decrecientes.

El valor de "C" para el cual se produce el cambio en las condiciones de comportamiento,

CAPITULO II

TRANSMISION DE LA VIBRACION EN EL CONCRETO

2.1 Transmisión de la Vibración

Hemos visto que el juego de fuerzas alternativas desarrolladas en una masa de concreto por la acción de un vibrador, provoca la compactación de los áridos. Antes de describir diversas aplicaciones, es conveniente que observemos cómo se desarrollan prácticamente en el concreto, los fenómenos de vibración que anteriormente presentamos bajo su aspecto matemático.

Es necesario decir, que estos fenómenos varían constantemente, desde el comienzo de la vibración hasta el momento en que todos los elementos del concreto, incluyendo el agua, se encuentren en contacto íntimo y que el estudio de las diferentes fases del compactado es consecuencia exclusivamente de las observaciones de orden tecnológico. Las cuales nos llevan a considerar la composición del concreto, la frecuencia de las vibraciones, su dirección, su amplitud.

Para nuestra demostración observemos lo que ocurre en una artesa equipada con un vibrador y llena de un concreto amasado pero no compactado. Al comienzo de la operación, una gran parte de los áridos reposan unos sobre los otros dejando entre sí muchos vacíos. El movimiento alternativo del molde se transmite a estos áridos no importa cual sea su forma, produciendo una primera dislocación que presenta unos aspectos muy diversos según la granulometría y el contenido de agua.

Con un producto seco y una fuerza motriz lo suficientemente grande, la vibración provoca expansiones y movimientos semejantes a los producidos sobre un tamiz vibratorio; de hecho, resulta casi imposible aglomerar concreto seco bajo la única acción de la vibración.

Por el contrario, la presencia de una cantidad de agua suficiente, modifica el problema, por un lado, puesto que es un elemento transmisor de las ondas de vibración y por el otro, porque con la arena y el cemento, se forma un mortero dotado de fuerzas elásticas que engloba a los áridos y forma una resistencia a las fuerzas de expansión.

Vemos, pues, que la transmisión de las ondas vibratorias pueden realizarse de diferentes modos. De una manera general, se efectúa a través de los elementos por una serie de deformaciones elásticas acompañadas de un aumento de energía potencial que se transforma en energía cinética. De otra manera, si se trata de áridos gruesos, éstos chocan entre sí, aplastándose muy ligeramente para volver a adquirir su forma al rebotar; en cuanto al agua, las láminas del líquido se contraen y se dilatan formando ondas esféricas o longitudinales según el estado de compactación del concreto. Es de gran importancia señalar que los flúidos sólo transmiten vibraciones longitudinales.

En la primera fase de fabricación se aprecia la aparición de un compactado de áridos y la formación de vetas de concreto viscoso.

En una segunda fase, la parte viscosa del concreto aumenta y se compacta, en tanto que

se le llama "coeficiente de resistencia crítica" y se representa por " C_c ". Su valor viene dado según:

$$C_c = 2mw_n \text{ siendo } w_n \text{ la pulsación natural.}$$

Si se comunican al cuerpo " m " o al resorte, impulsos periódicos de frecuencia

$$f = \frac{1}{n}, \text{ el cuerpo vibrará con esta frecuencia pero podrá adquirir aptitudes diversas las}$$

cuales variarán en función de la relación entre la frecuencia natural " N " y la de la vibración forzada. Este es el caso que ocurre en la vibración de los concretos. En el gráfico mostrado a continuación se han llevado las amplitudes en las ordenadas y con abscisas se han tomado las relaciones entre la frecuencia del movimiento forzado y la frecuencia natural. (Figs. 6 y 7)

Si la amortiguación " C " es débil, nos encontramos en el caso de la 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 frecuencias forzadas se hacen máximas para valores de " N " próximos a " n ", pero con un límite; su máximo disminuye a medida que " C " aumenta hasta desaparecer totalmente cuando " C " llega a hacerse igual al valor del coeficiente crítico. En resumen, cuando " N " es más pequeño que " n ", las amplitudes aumentan con " N " y alcanzan un máximo para $\frac{N}{n} = 1$. Dichas amplitudes disminuyen cuando " N " continúa aumentando y acaban por anularse.

Se puede decir que, con frecuencias débiles, la masa sigue en movimiento forzado, en el caso de resonancia, las amplitudes son muy grandes, y finalmente, cuando la vibración es rápida, la inercia de la masa hace que ésta se desplace poco y las amplitudes son casi nulas.

Después de la observación que hemos hecho, hay que admitir que los fenómenos de resonancia tienen lugar únicamente en aquellos sistemas en los que interviene únicamente "una masa", "un sistema elástico" y "un amortiguador". Podemos hablar entonces de la vibración de un grano considerado en el espacio. Decir que un tipo determinado de vibración favorece los movimientos de un conglomerado, mejor que cualquier otro, no tiene absolutamente ningún sentido si no se considera al mismo tiempo la envolvente elástica del mortero que la rodea.

Examinemos qué es lo que puede ocurrir en el interior de un concreto en vibración cuando se ha cumplido el relleno. Todos los áridos están envueltos por la pasta constituida por granos más o menos finos y están unidos entre ellos por las tensiones superficiales de los canales capilares y laminares. Esta pasta presenta caracteres de elasticidad que pueden, para pequeñas deformaciones, asimilarse a resortes que ejercen su acción en medios viscosos.

Si para el caso del sistema vibrante con amortiguador, en lugar de que actúe una fuerza externa sobre la masa " m " podemos considerar sometido el punto de suspensión del resorte a un movimiento periódico. El resorte al ser tendido y comprimido periódicamente ejercería, a su vez, sobre la masa " m " una fuerza periódica. Según esta observación, es más fácil concebir cómo tiene lugar la transmisión de las ondas vibratorias a través de los elementos ligados por sistemas elásticos. Considerando una superficie de una masa que vibre. (Fig. 8)

Un elemento " A_1 " en contacto con la pared, podrá transmitir las ondas a otro elemento " A_2 " con el que a su vez está en contacto, o hace vibrar a un elemento que transmitirá su acción a otro elemento interior " A_3 "; éste ejercerá idéntica acción sobre el elemento " A_4 " ya sea por

contacto directo o por medio de resortes, etc. 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 dependiendo de la masa propia "m" y del coeficiente "K" que caracteriza al elemento elástico circundante. En particular, podemos comprobar la existencia de fenómenos de resonancia; bastará para esto que la frecuencia forzada se aproxime a la frecuencia natural. Que para un vibrador libre será:

$$n = \frac{1}{2} \frac{K}{m}$$

en el caso que se considere una resistencia viscosa "n" toma el valor:

$$n = \frac{1}{2} \frac{K}{m} (1 - K^2) \quad \text{en la cual " " expresa la relación } \frac{C}{C_r} = 1.$$

Tratemos de determinar en un concreto los granos que entrarían en resonancia. Suponemos que C & C_r son constantes para el producto determinado. La masa "m" depende de la densidad y del diámetro de los granos. "K" depende de las características elásticas de los canales; y éstas a su vez están relacionadas con la longitud de los canales, la fluidez de la pasta, las condiciones de vibración, el estado de la superficie de los granos. Vemos que son muchas variables que a su vez, como hemos visto, son función, del cemento, de los aditivos, del porcentaje de finos, etc.

Se han realizado estudios matemáticos del concreto vibrado, tales como los que presentó M. Freyssinet y M. L'Hermite. Ellos suponen que las condiciones de contacto entre los elementos están establecidas, es decir, que se encuentran al final de la operación de cerrado. Valga decir que estas fórmulas no han encontrado aplicación práctica.

Sin embargo, podemos hacer el siguiente razonamiento sencillo: consideremos un conjunto de áridos sometidos a una amplitud de 0.5 milímetros; por tanto, un grano de 10 milímetros será desplazado un vigésimo de su dimensión, un grano de 1 milímetro lo será la mitad de su diámetro, y un grano de 0.1 milímetros lo sería en cinco veces su diámetro, en resumen, los movimientos se escalonan desde un ligero movimiento periódico para piedras gruesas hasta la turbulencia completa para granos finos. Si se trata, entonces, de compactar un producto rico en fino será sumamente interesante utilizar vibraciones de amplitudes bastante pequeñas con el fin de evitar las turbulencias, que traerían consigo la destrucción de los canales elásticos. No obstante, las aceleraciones correspondientes a estos movimientos deben ser importantes para que las ondas se transmitan a pesar de los amortiguamientos internos. Estas dos condiciones son cumplidas por vibradores que se encuentran generalmente en los equipos y que con frecuencias de 100, 150 y 200 Hz, engendren amplitudes suficientemente bajas y posean aceleraciones importantes. La amplitud depende de la relación de la fuerza del vibrador al peso de la masa que se trate de hacer vibrar.

En conclusión, es correcto decir que el compactado de los granos finos se favorece con la elección de amplitudes más pequeñas que su diámetro, debiéndose elegir la frecuencia de tal forma que las aceleraciones correspondientes sean suficientes para vencer ciertas fricciones y fuerzas de cohesiones internas. La experiencia confirma lo dicho, en el sentido de que frecuencias elevadas favorecen la formación de morteros, pues parece que aumenta su fluidez y se hace menor su límite inferior de viscosidad cuando la frecuencia aumenta.

Sin embargo, para fuerzas centrífugas iguales, las amplitudes de vibración decrecen cuando la frecuencia aumenta, y el tiempo de transmisión de las ondas se hace netamente mayor, y en consecuencia, el de compactado.

Una solución que se nos ocurre sería utilizar vibradores de diferentes frecuencias, por ejemplo, 60 & 120 H_z ; la primera sería para lograr un relleno rápido y un primer compactado, y la segunda se podría mejorar el compactado por retracción del mortero.

2.3 Influencia de la dirección de la vibración

Las primeras aplicaciones de la vibración, se realizaron con la ayuda de martillos neumáticos que actuaban sobre las formaleas en las obras. Posteriormente, los martillos fueron reemplazados por vibradores giratorios para encofrados y por vibradores que actuaban en el interior de la masa; todos estos creaban ondas horizontales. Sin embargo, actualmente, la mayoría de las piezas de concreto prefabricadas en todos los tamaños, se somete a la acción de una vibración vertical.

2.3.1 Vibración horizontal:

Hemos visto que la vibración se transmite por el contacto entre los áridos, el agua y el mortero.

Consideremos un apilamiento de piedras en contacto 1, 2, 3, 4, ... n. Demos un impulso horizontal a la piedra número 1 de la base. Esta se desplazará ligeramente, pero la acción de la fuerza horizontal "F" no se transmite progresivamente a las piedras 2, 3, 4, mas que por la existencia de rozamientos. La piedra 2 está sometida, por ejemplo, a la fuerza 0.20 F, la piedra 3 a la $(0.20)^2$ F y la piedra n a la $(0.20)^{n-1}$ F, etc. La acción de la fuerza F queda rápidamente amortiguada en el sentido vertical; ahora bien, las piedras, al desplazarse, modifican las bases del apoyo de las capas superiores y provocan un cierto compactado bajo la acción de la gravedad. Este efecto va acompañado por el descenso hacia el fondo del molde, de los elementos más gruesos y por ello de mayor peso, con lo que se origina una clasificación de los áridos, llamado "segregación".

Este mismo principio es aplicable a las ondas transmitidas por el agua y los morteros, hemos dicho anteriormente que los fluidos sólo transmiten vibraciones longitudinales. Las acciones horizontales del agua se ejercen normalmente a la gravedad, que es la única que provoca el compactado de los áridos.

2.3.2 Vibración vertical:

Volvamos a considerar el apilamiento de las piedras 1, 2, 3, 4, n y hagamos que actúe la fuerza "F" sobre el número 1 de la base. Esta fuerza se transmite casi íntegramente al 2, 3, 4, n pues el rendimiento en altura de fuerzas verticales es máximo. Además, eventualmente las piedras se separan debido a la acción de los choques y son juntadas de nuevo por la acción de la gravedad quedando en condiciones de recibir un nuevo impulso. La misma observación se aplica a las fuerzas verticales de vibración que, por su acción, provocan el compactado del conjunto. Si estas fuerzas son netamente superiores a la gravedad, la vibración no tiene más objeto, como para el caso de las fuerzas horizontales, sino que los elementos se desplacen verticalmente bajo el

efecto de la gravedad, o mejor dicho, equivale a reemplazar la gravedad por fuerzas alternativas mayores y más eficaces.

El concepto de trabajo se puede referir en igual forma. Como el trabajo de una fuerza es igual al producto del desplazamiento por la proyección de la fuerza sobre la trayectoria, se sabe que el trabajo es nulo si la fuerza es perpendicular al desplazamiento, y máximo si la fuerza es aplicada paralelamente al desplazamiento (fuerzas normales a la gravedad para el primer caso y fuerzas paralelas a la gravedad para el segundo).

2.3.3 Vibración orientada:

Siempre que sea posible, es mejor utilizar aparatos vibratorios que produzcan ondas verticales. Las cuales se obtienen fijando los vibradores bajo los moldes, o bien empleando mesas vibratorias. No obstante, hay que decir que los aparatos giratorios con masas excéntricas desarrollan generalmente fuerzas en planos verticales, con lo que engendran a su vez ondas verticales y horizontales. Su empleo puede aceptarse cuando se trata de piezas altas y delgadas, pues en ellos los desplazamientos horizontales quedan limitados por las paredes, tal es el caso de la fabricación de postes para tendidos eléctricos, vigas pretensadas, etc.

Pero para el caso de piezas relativamente planas (losas, bordillos, adoquines, etc.), se hace indispensable utilizar vibradores de efecto únicamente vertical.

2.4 Influencia de la fuerza del vibrador externo

El vibrador tiene por objeto dar origen a fuerzas alternativas destinadas a crear un nuevo cuerpo viscoso y a vencer resistencias internas propias de este nuevo cuerpo. La elección de la fuerza depende, pues, de diversos factores: peso del conjunto que se piensa hacer vibrar, altura del producto, dirección de la vibración, frecuencia de la vibración, estado reológico del concreto vibrado y tiempo de trabajo que se desea emplear. El problema, como puede verse, es demasiado complejo como para que pueda darse una solución universal. La práctica y un cierto sentido de la experiencia guían a los constructores.

A continuación se dan algunas indicaciones prácticas para una vibración vertical de frecuencia de 60 H_z.

$K = \frac{\text{fuerza centrífuga}}{\text{peso a vibrar}}$	aspecto del concreto	empleo
1	Concreto fluido colado	Bloques de construcción
2	Concreto semifluido que no cuela naturalmente	Postes eléctricos
3	Concreto tipo tierra húmeda	Piezas pretensadas Tubos vibrados
4	Concreto muy seco	Necesita una compresión vibradora superior

Para frecuencias de 100 H_z, el coeficiente "K" debe ser aumentado. Si se quiere mantener los tiempos de fabricación, deberá ser triplicado o cuadruplicado.

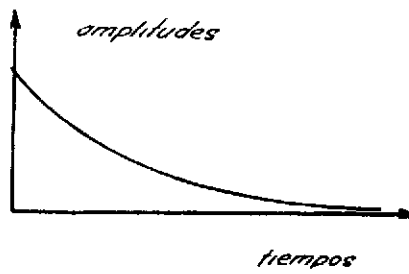


Fig. 5
Movimiento periódico de
la masa frenado

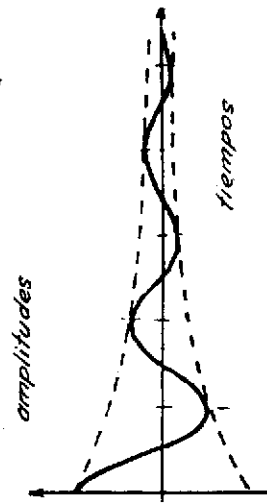


Fig. 6
Movimiento vibratorio con
resistencia viscosa

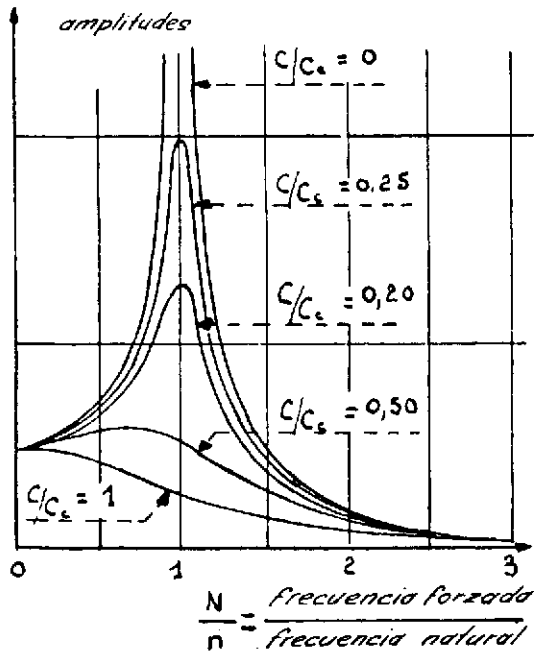


Fig. 7

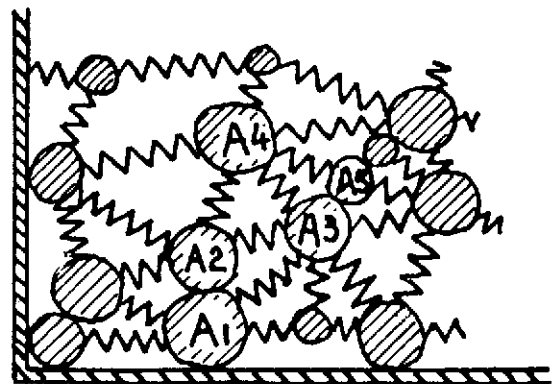
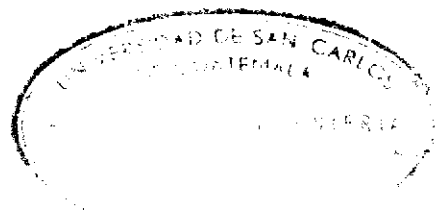


Fig. 8
Imagen de vibración de granos
ligados por canales elásticos



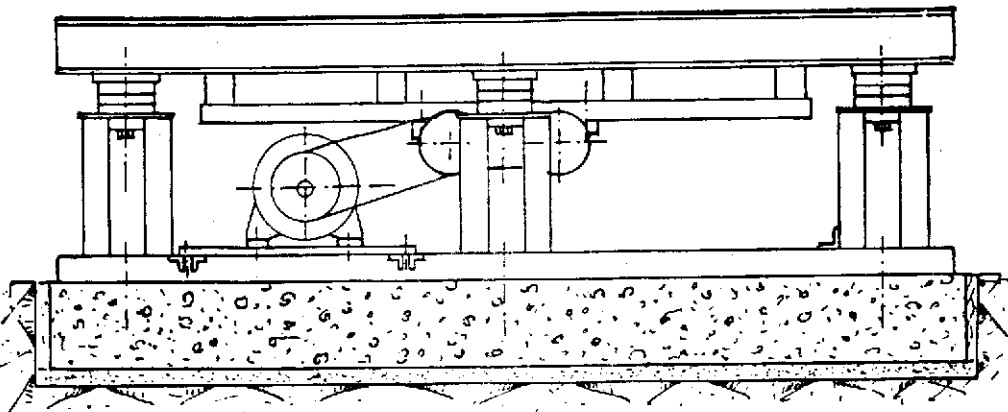
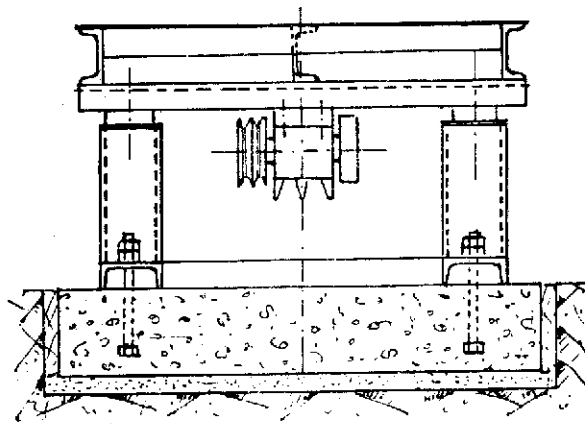
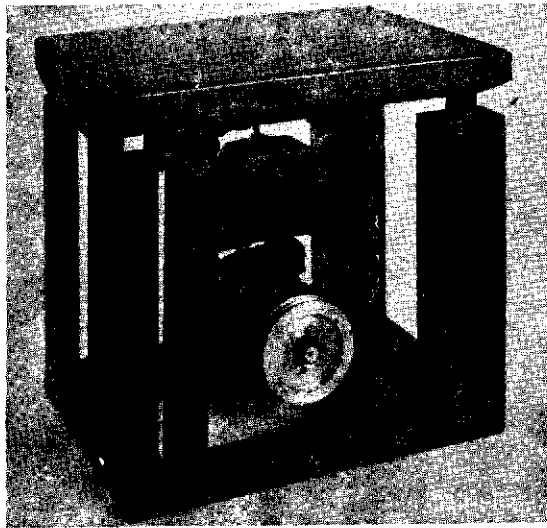


Fig. 9
Esquema de una mesa vibradora

CAPITULO III

MESAS VIBRADORAS

3.1 Tecnología de la mesa vibradora

Una mesa vibradora comprende esencialmente:

- Una plataforma superior
- Un generador de vibración fijado bajo la plataforma
- Unión elástica entre la plataforma y el soporte (chasis)
- Pies sujetos a un chasis inferior
- La fundación a la cual es solidario el chasis por anclajes
- El sistema de sujección de los moldes a la plataforma

El conjunto, debe ser concebido para soportar los moldes y transmitir a ellos las vibraciones de un modo uniforme.

Para elegir la mesa vibratoria adecuada se deberá tener en cuenta los siguientes factores:

- Dimensiones del molde, longitud, ancho, altura
- Peso del conjunto a vibrar
- Frecuencia de la vibración
- Aceleración que se desea aplicar a la mezcla
- Su utilización en un conjunto de fabricación

3.1.1 Plataforma de la mesa:

Generalmente está constituida por una superficie de trabajo hecha de lámina de acero, debidamente reforzado por ondulaciones o nervios soldados. Su objeto es el de soportar las cargas trasladando su acción a los pies, y transmitir los efectos producidos por el o los vibradores a todos los puntos de la plataforma.

El estudio teórico de este sistema debe, por lo tanto, establecer las fatigas de los aceros y sus deformaciones, no solamente el efecto de las cargas en reposo, sino, sobre todo, cuando las cargas están sometidas a las vibraciones. Para esto, conocidas las dimensiones de la plataforma y su carga, conviene definir los esfuerzos alternativos, así como la fuerza centrífuga máxima que les será aportada por el sistema vibratorio. El cual depende directamente de las masas en presencia de las aceleraciones deseadas. (Fig. 9)

Tomemos el siguiente ejemplo:

- a) Se trata de fabricar tubos de cemento con diámetro interior de un metro y un metro de altura, peso aproximado 600 kg. Una primera aproximación del peso total a vibrar se descompone así:

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

Tubo	600 kg
Molde	300 "
Mesa	300 "
Vibrador	200 "
Sujetadores	30 "

Total 1,430 kg

Se desea utilizar una frecuencia de 60 ciclos por segundo y obtener una aceleración aproximada a tres veces la gravedad.

Por tanto, la fuerza del vibrador deberá ser $1,430 \times 3 = 4,290$ kg. Por la proximidad y facilidad de cálculo se puede optar por un aparato que desarrolle 4 toneladas o bien 4.5 toneladas. La amplitud del movimiento será:

$$a = \frac{F}{m \cdot w^2} = \frac{4,000 \text{ kg}}{\frac{1,430}{9,81} \cdot 4\pi^2 \cdot 60^2} = 0.00019 \text{ m}$$

$$\text{Amplitud total} \quad 2a = 2 \cdot 0.19 \text{ mm} = 0.38 \text{ mm}$$

Otro ejemplo sería:

Se desea fabricar losas de concreto de $0.60 \times 0.70 \times 0.025$ m cuyo peso es de 25 kg. Nuevamente la carga a vibrar se descompone así:

Losa	25 kg
Plataforma	75 "
Vibrador	25 "
Molde	15 "
Sujetadores	10 "

Total 150 kg

Dado lo pequeño de la masa, para este caso sería recomendable usar una frecuencia de unos 100 ciclos por segundos y una aceleración aproximada de 4. g con lo cual la fuerza a desarrollar por el vibrador sería de 600 kg. y la amplitud total de 0.25 mm aproximadamente.

Habiendo elegido la fuerza centrífuga y por consiguiente, la amplitud máxima, conviene comunicar a todos los puntos de la plataforma cargada un movimiento vibratorio de amplitud constante. Esto solamente se puede conseguir si la plataforma posee una "rigidez" suficiente para transmitir a todos los puntos de la superficie las fuerzas desarrolladas por el vibrador.

Podemos darnos una mejor idea del fenómeno dicho, con el siguiente razonamiento:

Consideremos una viga horizontal, sin peso, que reposa sobre un solo apoyo central, y que está cargada en sus dos extremos con una carga $P/2$. La reacción en el centro es igual a "P". La viga sufre una deformación proporcional a su carga que se mide por su flecha "f". Inversamente una deformación como la indicada es indispensable para que una carga central "P" le

corresponda en los extremos reacciones " $P/2$ ". Si bajo la acción de una carga central la flecha es inferior a " f ", también las reacciones serán inferiores a $P/2$.

Veamos el caso concreto de una viga de 2 m de longitud, que reposa simplemente soportada en sus extremos y cargada sobre estos con 100 kg en cada uno y con un vibrador, en su punto medio, que desarrolla una fuerza centrífuga de 600 kg y con una frecuencia de 50 vueltas por segundo. Un razonamiento elemental las lleva a pensar que la amplitud simple será de: $0.1 \text{ mm} \times 600/200 = 0.3 \text{ mm}$. Mas, sin embargo, esta condición sólo se cumple si la rigidez de la viga es suficiente, en otro caso el movimiento vibratorio es diferente. En una primera hipótesis, sea la viga de hierro de sección U normal de 100 mm y que presenta una flecha de 0.8 mm para una carga central de 200 kg. Vamos a demostrar que la amplitud simple real " a " es diferente a 0.3 mm. Sea $P/2$ el esfuerzo transmitido a los extremos, la reacción central correspondiente será igual a " P ". La proporcionalidad de las deformaciones a las cargas da:

$$\frac{200}{0.27} = \frac{P}{a}$$

A esa amplitud " a " corresponde una fuerza centrífuga " F " tal que:

$$F = \text{reacción central} \times \frac{a}{0.1}, \text{ o sea:}$$

$$600 = P \times \frac{a}{0.1}$$

La multiplicación de las dos ecuaciones da:

$$120,000 = P^2$$

$$P = 122.4 \text{ kg}$$

$$a = 0.49$$

$$P/2 = 61.2 \text{ kg}$$

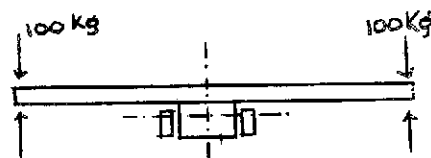


Fig. 10

De lo anterior podemos ver que la flecha total es de 1 mm, y que el esfuerzo transmitido a los extremos es de 61.2 kg. La consecuencia práctica es que la aceleración imprimida por el vibrador es de aproximadamente diez veces la aceleración que reciben los extremos. Este tipo de errores son cometidos con mucha frecuencia y el resultado es el fracaso total del sistema utilizado.

Sustituyamos ahora la viga U de 100 mm por una viga U de 140 mm, cuya inercia es tres veces mayor: la flecha de la carga dada es 0.27 mm

$$\frac{200}{0.27} = \frac{P}{a}$$

$$600 = P \times a / 0.1$$

de donde:

$$P = 211 \text{ kg}$$

$$a = 0.3 \text{ mm}$$

El vibrador está sometido a una aceleración de 3 g pero los extremos reciben una aceleración igual a " g " solamente.

Supongamos ahora una tercera hipótesis, para la cual utilizamos una viga de 1 m de longitud. En este caso, una deformación de $3 / 100 \text{ mm}$ es suficiente para transmitir un esfuerzo

de 300 kg en cada extremo. Las amplitudes bajo carga son entonces, con un 10 o/o de aproximación, las mismas en el centro y los extremos.

Observaciones precedentes muestran que una plataforma de mesa vibradora puede reaccionar de diferentes maneras. Si su inercia es suficiente, todos los puntos siguen aproximadamente al movimiento vibratorio; pero si la inercia es insuficiente, el conjunto elástico constituido por la plataforma se encuentra sometido a oscilaciones forzadas y se deforma según ondulaciones cuyo número y posición depende de las cargas y reacciones de los apoyos. La energía transmitida a los elementos a vibrar depende de las características elásticas del conjunto constituido por la plataforma y sus apoyos; y está indeterminada.

3.1.2 Apoyos elásticos

Los apoyos están constituidos por resortes o bien por tarugos de hule. Los cuales permiten uniones elásticas entre la plataforma y el resto de la mesa, de forma tal que permite la vibración de la plataforma bajo la sección del vibrador.

Las características de los apoyos deben ser estudiados por los constructores para poder cubrir ciertas condiciones de funcionamiento y pueden variar según sus aplicaciones y diferentes fabricantes, resultando imposible poder aconsejar acerca de un sistema imperativo de suspensión.

Los apoyos deben satisfacer dos condiciones:

- 1) Soportar la plataforma con carga o sin ella, sin deformaciones notables.
- 2) Permitir que la plataforma adquiera un movimiento oscilatorio.

La primera condición queda resuelta con la adopción de apoyos suficientemente rígidos. En efecto, una plataforma que repose en apoyos demasiado flexibles se inclina desfavorablemente bajo los efectos de cargas, pesadas y descentradas. Se recomienda no aceptar bajo carga, más que flechas inferiores a los 2 mm.

Además es preciso considerar que los movimientos de los apoyos siguen las leyes de las oscilaciones entretenidas pudiendo, por ello, entrar en resonancia con la plataforma. Salvo casos particulares de aplicación (vibradores electromagnéticos), las características de los apoyos se eligen de forma tal que su período natural sea bien distinto al de los vibradores.

La curva (fig. 7) de las frecuencias naturales en función de las flechas. En ella puede verse que para un aplastamiento, bajo carga, de 2 mm corresponde una frecuencia de 720 ciclos por minuto.

Este valor resulta bastante distanciado de las frecuencias normales de los vibradores, 3,000 ó 6,000 ciclos por minuto; sin embargo, ambas frecuencias coinciden en un momento, aunque breve, y esto ocurre al cesar el funcionamiento del vibrador, como puede comprobarse por la aparición en la mesa de movimientos desordenados.

Se evita este inconveniente mediante la aplicación de un frenado al finalizar la operación. (Empleo de motores con freno mecánico o de contracorriente).

No siempre es posible medir las flechas naturales de los apoyos. Pero la frecuencia natural sí puede calcularse. Con este objeto recordamos las siguientes fórmulas, en las que "m" es la masa vibrada y "K" la característica del resorte:

— Período natural:

$$T_n = 2 \sqrt{\frac{m}{K}}$$

— Frecuencia natural:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} = \frac{1}{2\pi} \omega_n$$

El paso a las fórmulas que nos dan la flecha, se hace así:

Sea "g" la flecha, llamada a veces "deflexión estática".

$$g = \frac{mg}{K} = \frac{g}{\omega_n^2}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{\varphi}}$$

Si "ϕ" viene dada en centímetros, $g = 981$.

$$f_n = 4,98 \sqrt{\frac{1}{\varphi}} \approx 5 \sqrt{\frac{1}{\varphi}} \text{ ciclos por segundo}$$

o sea:

$$f_n = 298 \sqrt{\frac{1}{\varphi}} \approx 300 \sqrt{\frac{1}{\varphi}} \text{ ciclos por minuto}$$

El coeficiente "K" no puede conocerse automáticamente, ya que en ocasiones la plataforma está soportada por sistemas complejos de apoyos elásticos con diferentes características. Además, la plataforma en sí es deformable y su elasticidad puede también influir en el período natural del conjunto.

A continuación ofrecemos algunos ejemplos de cálculo:

a) Resortes en paralelo

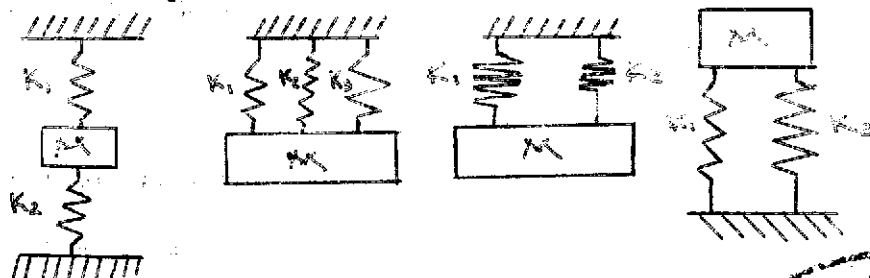
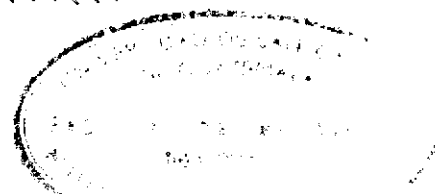


Fig. 12



Si la masa se desplaza 1 cm, la reacción de cada uno de los resortes aumenta en "K".

La pulsación natural

$$\omega_n = \frac{K_1 + K_2}{m}$$

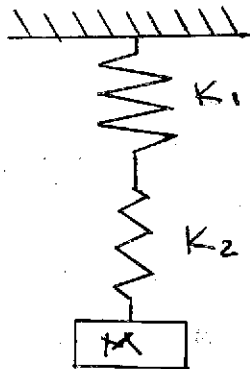


Fig. 11

b) Resortes en serie (fig. 11)

Suspendamos del extremo de los resortes una masa de 1 kg. Cada resorte recibe la carga total y se alargará en $1/K$. El alargamiento total que resulta es:

$$\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$$

Puede entonces escribirse:

$$\frac{1}{K \text{ final}} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}}$$

c) Resortes encontrados en paralelo (fig. 12)

Este es el típico caso en el montaje de las mesas vibradoras. La plataforma reposa sobre los pies por medio de un resorte o un apilamiento de discos de caucho. Se coloca también un resorte (o disco elástico) en oposición con respecto al apoyo. El conjunto de piezas indicado se encuentra comprimido por un perno, de tal manera que el resorte inferior continúe comprimido cuando vibre la plataforma cargada.

Razonemos ahora sobre un ejemplo numérico:

— Tengamos encima del apoyo un resorte que se comprima 1 cm para $K_1 = 50 \text{ kg}$

— Debajo del apoyo otro resorte que se comprima 1 cm para $K_2 = 100 \text{ kg}$

El esfuerzo del perno es de $P = 300$ kg, dirigiendo las deformaciones superiores e inferiores:

$$S = \frac{300}{50} = 6 \text{ cm}$$

$$1 = \frac{300}{100} = 3 \text{ cm}$$

Calculemos la fuerza "K" que es preciso aplicar a la plataforma para obtener una flecha de 1 cm.

El resorte inferior se descarga y su reacción sobre la cabeza del perno valdrá $P - K_2 = 300 - 100 = 200$ kg.

La carga que actúa sobre el resorte superior es la suma de la carga "K" y de la reacción del perno $P - K_2$ o sea:

$$K + P - K_2 = K + 200 \text{ kg}$$

El resorte superior se comprime, adquiriendo su reacción el valor:

$$P + K_1 = 300 + 50 = 350 \text{ kg}$$

El equilibrio de fuerzas da:

$$K + 200 \text{ kg} = 350 \text{ kg}$$

$$K = 150 \text{ kg}$$

O bien:

$$K + P - K_2 = P + K_1$$

$$K = K_1 + K_2$$

La característica final del apoyo resulta independiente de la compresión de los resortes por el perno.

Aplicación:

El apoyo superior está constituido por 3 discos de caucho de 125 mm de diámetro, con espesor por unidad de 20 mm, sección horizontal de 100 cm^2 y rigidez Shore de 60° . K_1 total = 1,000 kg.

El apoyo inferior consta de un solo disco de 20 mm de espesor, siendo $K_2 = 3,000$ kg.

$$K \text{ total} = 4,000 \text{ kg.}$$

Para una carga unitaria de 100 kg:

$$\varphi = \frac{100}{4,000} = 0,025 \text{ cm}$$

$$\omega_n = 1,800 \text{ por minuto}$$

Para una frecuencia forzada de 3,200 vueltas por minuto, se comprueba un ligero aumento de la amplitud, como puede verse en las curvas de la resonancia; pero la disposición de los resortes limita las oscilaciones de la masa en el período de resonancia.

d) Conjunto de plataforma y apoyos

La plataforma de una mesa es un resorte que suma su acción a la de los apoyos. Si " K_1 " y " K_2 " son las características de la plataforma y de los apoyos, el coeficiente característico del conjunto es:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}}$$

Generalmente " K_1 " es muy grande con respecto a " K_2 ", resultando que $\frac{1}{K_1}$ es despreciable; pero en el caso de apoyos rígidos, debe tenerse en cuenta.

El número y disposición de los apoyos dependen de las dimensiones de la plataforma y de la carga total. En general, la separación de pies suele ser de 1 m y no excede nunca de 1,50 m.

Veamos algunos ejemplos:

Superficie de la plataforma

Número de apoyos

1,00 X 1,00 m	4
1,00 X 2,00 m	4 ó 6
0,75 X 3,00 m	6 u 8
2,00 X 2,00 m	8
1,20 X 3,00 m	10

3.1.3 Pies

La altura de la plataforma sobre el suelo es de 0,50 a 0,60 m, de tal modo que los trabajos de relleno y acabado se hagan cómodamente.

Los pies de una mesa son rígidos, de la misma altura y descansan por medio de un bastidor inferior en una base pesada.

3.1.4 Base de la mesa

Ciertos usuarios piensan que la estructura de la mesa puede reposar libremente sobre el piso del taller. Otros más razonables, sujetan su estructura a una base.

El esfuerzo del perno es de $P = 300$ kg, dirigiendo las deformaciones superiores e inferiores:

$$S = \frac{300}{50} = 6 \text{ cm}$$

$$1 = \frac{300}{100} = 3 \text{ cm}$$

Calculemos la fuerza "K" que es preciso aplicar a la plataforma para obtener una flecha de 1 cm.

El resorte inferior se descarga y su reacción sobre la cabeza del perno valdrá $P - K_2 = 300 - 100 = 200$ kg.

La carga que actúa sobre el resorte superior es la suma de la carga "K" y de la reacción del perno $P - K_2$ o sea:

$$K + P - K_2 = K + 200 \text{ kg}$$

El resorte superior se comprime, adquiriendo su reacción el valor:

$$P + K_1 = 300 + 50 = 350 \text{ kg}$$

El equilibrio de fuerzas da:

$$K + 200 \text{ kg} = 350 \text{ kg}$$

$$K = 150 \text{ kg}$$

O bien:

$$K + P - K_2 = P + K_1$$

$$K = K_1 + K_2$$

La característica final del apoyo resulta independiente de la compresión de los resortes por el perno.

Aplicación:

El apoyo superior está constituido por 3 discos de caucho de 125 mm de diámetro, con espesor por unidad de 20 mm, sección horizontal de 100 cm^2 y rigidez Shore de 60° . K_1 total = 1,000 kg.

El apoyo inferior consta de un solo disco de 20 mm de espesor, siendo $K_2 = 3,000$ kg.

$$K \text{ total} = 4,000 \text{ kg.}$$

Para una carga unitaria de 100 kg:

$$\zeta = \frac{100}{4,000} = 0,025 \text{ cm}$$

$$\omega_n = 1,800 \text{ por minuto}$$

Para una frecuencia forzada de 3,200 vueltas por minuto, se comprueba un ligero aumento de la amplitud, como puede verse en las curvas de la resonancia; pero la disposición de los resortes limita las oscilaciones de la masa en el período de resonancia.

d) Conjunto de plataforma y apoyos

La plataforma de una mesa es un resorte que suma su acción a la de los apoyos. Si " K_1 " y " K_2 " son las características de la plataforma y de los apoyos, el coeficiente característico del conjunto es:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}}$$

Generalmente " K_1 " es muy grande con respecto a " K_2 ", resultando que $\frac{1}{K_1}$ es despreciable; pero en el caso de apoyos rígidos, debe tenerse en cuenta.

El número y disposición de los apoyos dependen de las dimensiones de la plataforma y de la carga total. En general, la separación de pies suele ser de 1 m y no excede nunca de 1,50 m.

Veamos algunos ejemplos:

Superficie de la plataforma

Número de apoyos

1,00 X 1,00 m	4
1,00 X 2,00 m	4 ó 6
0,75 X 3,00 m	6 u 8
2,00 X 2,00 m	8
1,20 X 3,00 m	10

3.1.3 Pies

La altura de la plataforma sobre el suelo es de 0,50 a 0,60 m, de tal modo que los trabajos de relleno y acabado se hagan cómodamente.

Los pies de una mesa son rígidos, de la misma altura y descansan por medio de un bastidor inferior en una base pesada.

3.1.4 Base de la mesa

Ciertos usuarios piensan que la estructura de la mesa puede reposar libremente sobre el piso del taller. Otros más razonables, sujetan su estructura a una base.

Examinemos los dos casos:

Cuando una mesa reposa sin sujeción sobre el suelo, se forma un sistema complejo en el que se introduce una unión elástica entre el piso y la estructura de la masa, estableciéndose un montaje con dos grados de libertad (fig. 13).

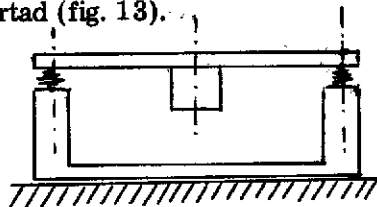


Fig. 13

En esta hipótesis, el bastidor inferior queda sometido a las reacciones de los resortes y adquiere un movimiento vibratorio de frecuencia distinta a la de la plataforma. Esto modifica el movimiento regular de la mesa con la creación de sacudidas. El ruido de la mesa no es uniforme, y puede verse cómo tiembla e incluso se desplaza.

Por el contrario, cuando la mesa está perfectamente sujeta a una base, todo se desarrolla tal y como hasta el presente lo hemos descrito y estudiado (fig. 13). Es muy conveniente hacer una base cuyo peso se aproxime al de la fuerza centrífuga del vibrador. Pero una base en esas condiciones todavía sufre oscilaciones de débil amplitud; siendo muy ventajoso aislarlo de otras bases mediante un lecho de arena o un aislante no sensible al agua (caucho, por ejemplo).

La experiencia demuestra que un montaje de este tipo asegura un mejor cerrado del concreto que el obtenido sin base, debiéndose al hecho de que la energía vibradora es totalmente transmitida y aprovechada. Haciendo un símil, diremos que la base pesada de una mesa es como el yunque del herrero. Puede decirse también que el conjunto formado por los apoyos elásticos y la base no deberá constituir un amortiguador como algunos creen, sino motivar las reacciones. Es preciso no olvidar que los movimientos del molde y del concreto que contiene no están en fase: cuando el molde inicia su ascenso, el concreto debido a su inercia, continúa descendiendo, y se comprime de tal modo que la detención de este movimiento resulta brutal.

3.1.5 Posición de los vibradores bajo la mesa

Una plataforma vibradora se puede equipar con: un vibrador, varios vibradores, un árbol con varias masas excéntricas, o varios árboles con masas excéntricas. Ofrecemos algunos ejemplos: figs. 14, 15.

Mesa con un vibrador central:

Esta solución es aceptable para plataformas de dimensiones restringidas: mesas cuadradas o rectangulares cuya mayor dimensión sea inferior a 1,50 m. Mesas rectangulares largas y cuya anchura sea igual o menor a 1 m, siendo su longitud inferior a los 4 m. El vibrador puede ser mecánico o eléctrico, como puede apreciarse en las fotografías.

Mesa con varios vibradores:

Se adopta esta solución para obtener una fuerza centrífuga grande y realizar una vibración

unidireccional por autosincronismo de dos vibradores que giran en sentido inverso. Fig. 16.

La figura 16 muestra una mesa con plataforma redonda, de 1,50 m de diámetro, equipada con dos vibradores eléctricos de 2 CV. cada uno.

La figura 17 ofrece la fotografía de una mesa con plataforma de 1,20 X 3 m, equipada con dos líneas de tres vibradores unidos por acoplamientos elásticos.

Mesa con un árbol y varias masas excéntricas:

En esta concepción, una serie de cojinetes de bolas o rodillos fijados bajo la plataforma soportan un árbol provisto de masas excéntricas. El giro del árbol se produce por un motor independiente y transmisión de correas. La velocidad puede variarse mediante un juego de poleas escalonado, y la fuerza centrífuga por el desplazamiento angular de las masas. Este sistema permite una distribución de la vibración en sentido longitudinal, cualquiera que sea la longitud de la mesa, pero presenta el inconveniente de no ser unidireccional y producir ondas vibratorias dirigidas transversalmente a la mesa.

Mesa electromagnética:

Su esquema se da en la figura 18. La mesa va provista de un vibrador electromagnético en el que una armadura del electroimán es solidaria a la plataforma y la otra va sujeta a una masa pesada de reacción. Las armaduras se unen por medio de resortes helicoidales o por ballestas que permiten la oscilación de la masa libre. Con una frecuencia "f" y una semiamplitud "a" de la masa "m", la aceleración máxima es igual a $4\pi^2 f^2 a$ y el valor de la fuerza máxima será:

$$F = 4\pi^2 f^2 a \times m.$$

La amplitud de vibración de un electroimán es del orden del milímetro. El peso de la masa es sensiblemente igual al peso de la plataforma y la carga a vibrar. Los resortes se eligen en función de la carga de utilización, de forma que su período se aproxime al de resonancia, pero sin alcanzarlo.

Cuando la bobina se alimenta con corriente alterna normal, es preciso recordar que cada paso de corriente positiva o negativa produce una atracción; por consiguiente, la frecuencia de vibración que corresponde a una corriente de 60 Hz, será de 120 ciclos por segundo, o sea, de 7,200 por minuto. La frecuencia puede reducirse a 60 ciclos por segundo suprimiendo una semialternancia por medio de un rectificador monoanódico intercalado entre la red de 60 Hz y el vibrador; resultando en general aumentadas las amplitudes con respecto al caso anterior. Su regulación se puede realizar en marcha, variando la tensión de alimentación del electroimán.

La figura 19 es una fotografía de la mesa.

Mesa electrodinámica:

Las mesas electrodinámicas son mesas de ensayos vibratorios en las que se puede establecer a voluntad la frecuencia en una gama que va desde los 10 ciclos a los 1,000 por segundo. Se utilizan principalmente para el estudio de la resistencia de piezas mecánicas.

Examinemos los dos casos:

Cuando una mesa reposa sin sujeción sobre el suelo, se forma un sistema complejo en el que se introduce una unión elástica entre el piso y la estructura de la masa, estableciéndose un montaje con dos grados de libertad (fig. 13).

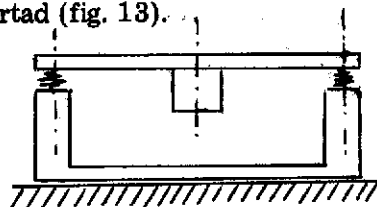


Fig. 13

En esta hipótesis, el bastidor inferior queda sometido a las reacciones de los resortes y adquiere un movimiento vibratorio de frecuencia distinta a la de la plataforma. Esto modifica el movimiento regular de la mesa con la creación de sacudidas. El ruido de la mesa no es uniforme, y puede verse cómo tiembla e incluso se desplaza.

Por el contrario, cuando la mesa está perfectamente sujeta a una base, todo se desarrolla tal y como hasta el presente lo hemos descrito y estudiado (fig. 13). Es muy conveniente hacer una base cuyo peso se aproxime al de la fuerza centrífuga del vibrador. Pero una base en esas condiciones todavía sufre oscilaciones de débil amplitud; siendo muy ventajoso aislarlo de otras bases mediante un lecho de arena o un aislante no sensible al agua (caucho, por ejemplo).

La experiencia demuestra que un montaje de este tipo asegura un mejor cerrado del concreto que el obtenido sin base, debiéndose al hecho de que la energía vibradora es totalmente transmitida y aprovechada. Haciendo un símil, diremos que la base pesada de una mesa es como el yunque del herrero. Puede decirse también que el conjunto formado por los apoyos elásticos y la base no deberá constituir un amortiguador como algunos creen, sino motivar las reacciones. Es preciso no olvidar que los movimientos del molde y del concreto que contiene no están en fase: cuando el molde inicia su ascenso, el concreto debido a su inercia, continúa descendiendo, y se comprime de tal modo que la detención de este movimiento resulta brutal.

3.1.5 Posición de los vibradores bajo la mesa

Una plataforma vibradora se puede equipar con: un vibrador, varios vibradores, un árbol con varias masas excéntricas, o varios árboles con masas excéntricas. Ofrecemos algunos ejemplos: figs. 14, 15.

Mesa con un vibrador central:

Esta solución es aceptable para plataformas de dimensiones restringidas: mesas cuadradas o rectangulares cuya mayor dimensión sea inferior a 1,50 m. Mesas rectangulares largas y cuya anchura sea igual o menor a 1 m, siendo su longitud inferior a los 4 m. El vibrador puede ser mecánico o eléctrico, como puede apreciarse en las fotografías.

Mesa con varios vibradores:

Se adopta esta solución para obtener una fuerza centrífuga grande y realizar una vibración

El principio de funcionamiento consiste en la transformación en vibraciones mecánicas de impulsos eléctricos producidos por un aparellaje auxiliar conveniente, del mismo modo que lo haría un gran altavoz. El esquema de la figura 20 muestra el corte de una mesa de este tipo.

En el interior de un imán cilíndrico, que produce un campo magnético, se encuentra un núcleo vertical móvil sobre el que se enrolla un bobinado que recibe las señales eléctricas. El núcleo está fijo bajo la plataforma, la cual, a su vez, es soportada por ballestas. La variación de tensión en el bobinado provoca el movimiento del núcleo que es devuelto a su posición por los resortes.

La figura 21 representa una mesa americana orientable. Existen numerosos modelos a los que corresponden fuerzas escalonadas desde el kilogramo a la tonelada.

3.2 Cómo sujetar los moldes a la mesa vibradora

3.2.1 *Discusión de la necesidad de sujetar los moldes*

A) Planteamiento del problema

Primero conviene recordar el fin que se trata de alcanzar con el uso de vibraciones o choques. El hecho de que desde tiempo inmemorial la harina sea comprimida en un saco mediante choques sucesivos, tal vez pueda ser considerado como el origen de nuestros métodos actuales; pero el hábito ancestral no es una explicación, y proponemos otros objetos de reflexión más modernos.

Es interesante pensar que el fin perseguido en todas las máquinas, cualesquiera que sean, es crear fuerzas capaces de anular o modificar otras fuerzas. En el caso que nos ocupa se trata de, por medio de vibraciones o choques, aproximar entre sí a los componentes del concreto tanto como sea posible. Las fuerzas que se oponen a esta aproximación son las fuerzas de fricción de los productos en contacto y las de viscosidad de la pasta del mortero. Las primeras actúan esencialmente en el período inicial del compactado, las segundas en el cerrado final. Anteriormente indicamos cómo un concreto en vibración presentaba características semejantes a las de una pasta viscosa (por ejemplo, una pasta dentífrica). En este estado, el colado relativo de diferentes capas no puede tener lugar más que si la fuerza que actúa sobrepasa el límite inferior de cizallamiento. En consecuencia, el cerrado del concreto sólo podrá lograrse mediante fuerzas superiores a las fuerzas de fricción de superficie y a las de viscosidad.

Las fuerzas exteriores de que disponemos para cerrar el concreto son la gravedad, las fuerzas de vibración y las de choques. Con objeto de poderlas analizar fácilmente, recordemos que por definición, una fuerza es aquello capaz de producir una variación de la velocidad o de la trayectoria de un cuerpo, y que su valor viene dado por el producto de una masa y una aceleración:

$$F = m \cdot y$$

B) Fuerzas originadas por las variaciones

Pueden definirse como sigue: un cuerpo en vibración, mesa, molde, concreto, está

sometido a un movimiento periódico, es decir, que oscila alrededor de una posición de equilibrio, y que con intervalos regulares (o periódicos), vuelve a encontrarse en las mismas posiciones de trayectoria, velocidad, aceleración. La más sencilla de las funciones periódicas es la función sinusoidal.

Para una frecuencia de "n" ciclos por segundo y una amplitud total "2a", la aceleración pasa en cada período por los valores máximo y mínimo $y = \pm a \omega^2$.

Lo que es preciso retener es que "los cuerpos de masa /m/, sometidos a aceleraciones", durante la vibración sufren fuerzas máximas de valor $f = \pm m \omega^2 a$, que se suman algebraicamente a otras fuerzas: gravedad y fuerzas de fricción.

Estas fuerzas de vibración son importantes. A continuación damos algunos valores clásicos:

Frecuencia en H_z	Amplitud en mm	Aceleración	Fuerza con respecto al peso P
50	0,1	$y = g$	P
50	0,2	$y = 2g$	2 P
50	0,5	$y = 5g$ etc.	5 P etc.
100	0,1	$y = 4g$	4 P
100	0,2	$y = 8g$	8 P
100	0,5	$y = 20g$ etc.	20 P etc.

Si la vibración actúa verticalmente, las fuerzas que resultan se suman algebraicamente a la gravedad y crean alternativamente un compactado y una descompresión del concreto. De este modo un árido que vibre con la frecuencia de 50 H_z con una semi-amplitud de 0,3 mm, está sometido a una aceleración de 3 g y pesará alternativamente:

$$P_M = m(3g + g) = 4mg = 4 \text{ veces el peso } P$$

$$P_m = m(-3g + g) = -2mg = -2 \text{ veces el peso } P.$$

La fuerza 4 P comprime fuertemente a los áridos unos contra otros y contra las paredes del molde. Por el contrario, la fuerza "— 2 P" tiende a separarlos, pero esta expansión queda disminuida por las fuerzas capilares de cohesión. El cerrado de los elementos encuentra cuando las capas de concreto no se deslizan unas sobre otras, es decir, cuando se alcanza el límite inferior de cizallamiento correspondiente a la vibración. No podrá progresar el cerrado más que si se aumenta la acción de la fuerza vibradora modificando la frecuencia o la amplitud del sistema vibrador.

En resumen, la vibración permite obrar sobre los componentes del concreto con fuerzas perfectamente controladas, permitiendo, por tanto, aplicaciones industriales.

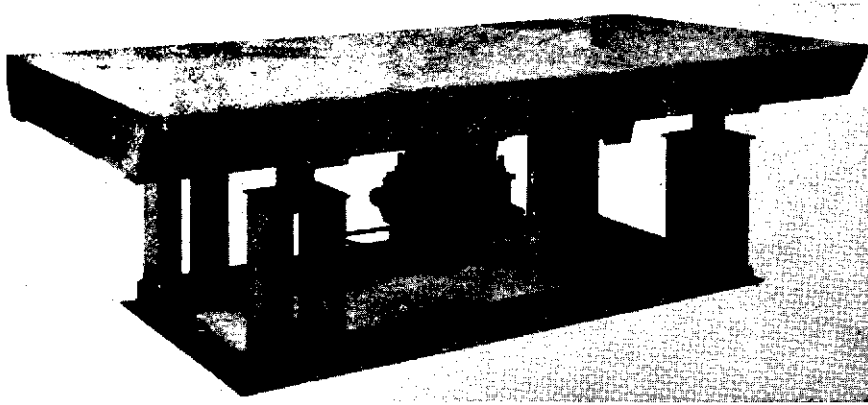


Fig. 14

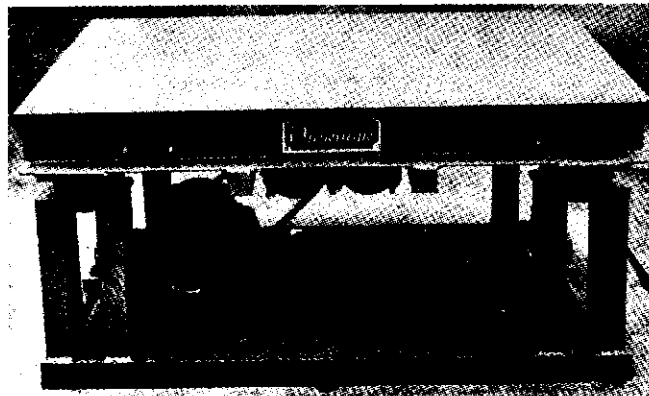


Fig. 15

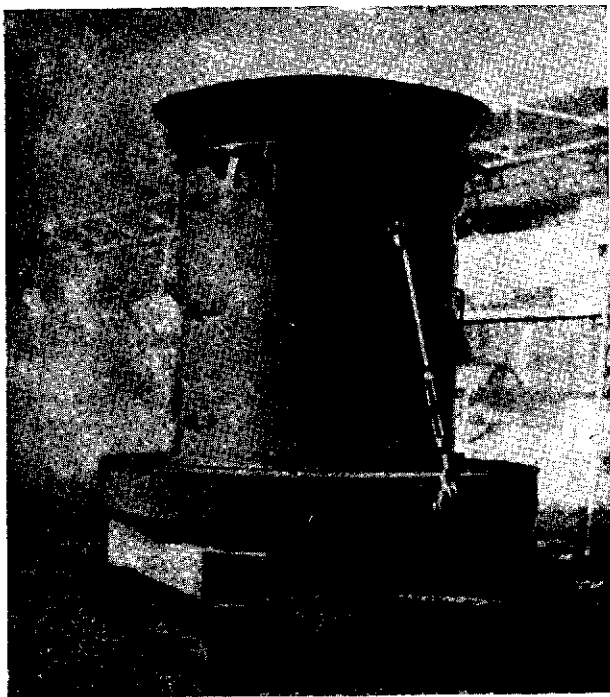


Fig. 16

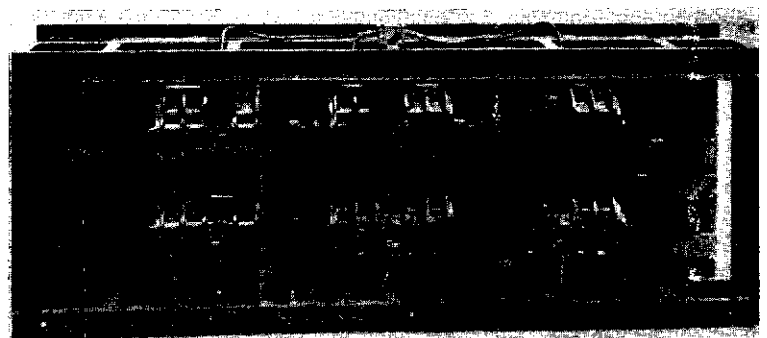


Fig. 17

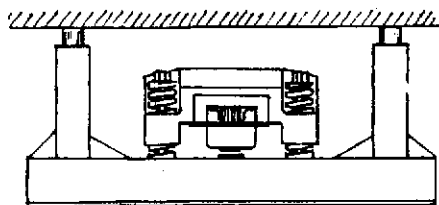


Fig. 18

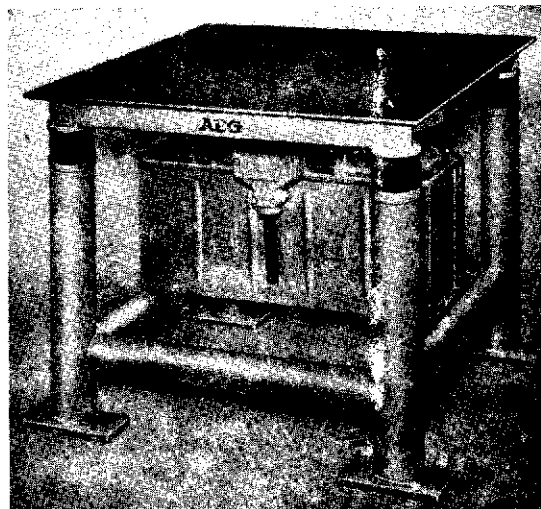


Fig. 19

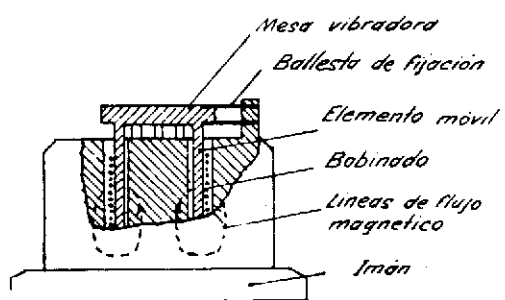


Fig. 20

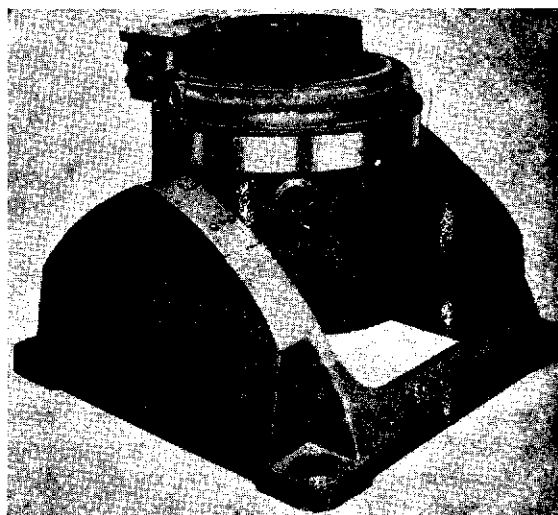
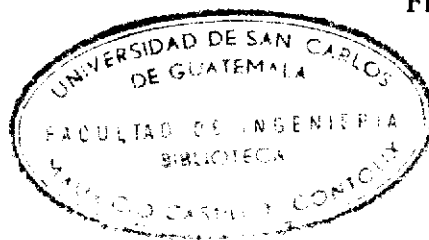


Fig. 21



C) Consideraciones físicas y matemáticas sobre los choques

Los choques también originan fuerzas. Su análisis, lo mismo que el de las velocidades que resultan, es indispensable para hacerse una idea exacta de lo que ocurre en un molde colocado sobre una mesa vibradora, pero no sujeto a ella.

1) Fuerzas debidas a los choques

Un choque se produce cuando dos cuerpos con movimientos relativos se encuentran. La trayectoria de cada punto de los cuerpos presenta un punto anguloso, siendo cada una de las ramas de la trayectoria tangente a la velocidad. Durante el choque, la velocidad de cada cuerpo varía brutalmente en un intervalo de tiempo que es del orden de una centésima, de una milésima por segundo. A esta variación rápida de la velocidad corresponde, pues, una aceleración (que es la velocidad de la velocidad), y en consecuencia, una fuerza. Si la duración del choque fuese nula, la aceleración del choque sería infinita, pero debido a la elasticidad de los cuerpos en presencia que prolonga el tiempo de impacto, la aceleración es importante pero limitada. Se mide con acelerómetros piezoeléctricos. Como ejemplo, se han medido aceleraciones de 150 g en plataformas de mesas con sacudimientos que sufrían un descenso de 2,5 centímetros. Conviene, pues, recordar que las aceleraciones, y en consecuencia, las fuerzas debidas a choques pueden ser grandes e indeterminadas, dependiendo su valor de la elasticidad de los cuerpos en presencia y del tiempo de duración del impacto (1).

(1) Los matemáticos caracterizan la acción de un choque por una "percusión" definida según la fórmula: $P = \int_{t_0}^{t_1} F dt$, en la que " t_0 " y " t_1 " son tiempos de comienzo y fin del choque, y " F " el valor de la fuerza " $m y$ " para cada instante del intervalo.

Si " V_0 " y " V_1 " son las velocidades antes y después del choque, la percusión es igual a la variación de la cantidad de movimiento: $m(V_1 - V_0) = P$.

2) Frecuencia de los choques

Relación con la velocidad de rebote

Se sabe que un molde simplemente apoyado sobre una mesa da saltos con una frecuencia inferior a la de la vibración de la plataforma. Los vibrógrafos dan fácilmente indicaciones a este respecto. Obtuvimos los siguientes resultados en el caso de fabricación de bordillos de arena:

Frecuencia de la mesa	Número de saltos del molde
3,000 ciclos por minuto	1,500 a 1,800 por minuto
6,000 ciclos por minuto	3,000 aprox. por minuto

El tiempo empleado en un salto es función de la velocidad de lanzamiento del molde. En efecto, se sabe que un cuerpo lanzado al aire con una velocidad " V_0 " vuelve a caer después del tiempo

$$t = \frac{2 V_0}{g} \quad \text{habiendo alcanzado una altura} \quad h = \frac{V_0^2}{2g}$$

Todo está en conocer " V_0 ", pudiendo ser, por ejemplo, la velocidad máxima de la mesa, pero ésta puede resultar muy modificada por los choques, como vamos a demostrar. Las hipótesis presentadas a continuación, y que han sido sacadas entre miles de casos posibles y diferentes, pondrán bien de manifiesto la importancia de ciertos factores y particularmente la relación entre el peso del molde lleno y las características de la mesa, peso de la plataforma, rigidez de los apoyos y peso de la estructura.

Primer lanzamiento:

Admitamos la hipótesis de que el molde sea lanzado con una velocidad que corresponda a la máxima de la tabla $V_0 = w \cdot a = 2 \pi n \cdot a$. Las alturas y los tiempos de los saltos que corresponden a frecuencias de 50 y 100 H_z , y aceleraciones comprendidas entre 1 y 5 g pueden verse en la tabla I.

La tabla indica claramente que el tiempo empleado en el primer salto sería generalmente distinto del período de vibración de la masa. Pero, este tiempo también es variable desde el primer choque, como vamos a demostrar.

TABLA I

Frecuencia del vibrador en H_z	Semi-amplitud /a/ en mm	y	$V_0 = w \cdot a$ mm/segundo	h en mm	t en segundos
50	0,1	g	32	0,05	1/150
50	0,2	2 g	63	0,2	1/75
50	0,3	3 g	95	0,5	1/50
50	0,4	4 g	126	0,8	1/37
50	0,5	5 g	158	1,3	1/30
100	0,025	g	16	0,0125	1/300
100	0,050	2 g	31,5	0,05	1/150
100	0,075	3 g	47,5	0,125	1/100
100	0,10	4 g	63	0,2	1/75
100	0,125	5 g	79	0,3	1/60

Movimiento del molde después del primer choque:

Para intentar conocer lo que ocurre después de un choque, vamos a ofrecer algunas consideraciones referentes al "choque de dos cuerpos libres".

Supongamos, de momento, que el molde y la plataforma sean libres, es decir, supongamos que no existen apoyos elásticos en el momento del choque. Para facilitar la comprensión, llamemos:

— " T_1 " y " T_2 " a las velocidades algébricas de la plataforma de la mesa libre, antes y después del choque;

— " B_1 " y " B_2 " a las velocidades algébricas del molde lleno antes y después del choque;

— " M_T " y " M_B " a las masas de la plataforma y del molde lleno de concreto;

— " K " a la relación $\frac{M_B}{M_T}$

Consideremos el caso en que los cuerpos sean perfectamente elásticos, es decir, que no se disipe la energía en forma de calor en el momento del choque. Podrá encontrarse en todos los tratados de mecánica racional las relaciones siguientes:

a) En el momento del choque, la velocidad relativa de los dos cuerpos se conserva en valor, pero cambia de sentido:

$$T_1 - B_1 = - (T_2 - B_2)$$

b) Las velocidades T_2 y B_2 están fuertemente influenciadas por las masas respectivas de los cuerpos que chocan, y vienen dadas por las fórmulas:

$$T_2 = B_1 + \frac{M_T - M_B}{M_T + M_B} (T_1 - B_1)$$

$$B_2 = T_1 + \frac{M_T - M_B}{M_T + M_B} (T_1 - B_1)$$

o también:

$$T_2 = B_1 + \frac{1 - K}{1 + K} (T_1 - B_1)$$

$$B_2 = T_1 + \frac{1 - K}{1 + K} (T_1 - B_1)$$

Tomemos, por ejemplo, el caso de dos esferas de la misma masa.

Se tendrá: $T_2 = B_1$ $B_2 = T_1$

Después del choque, cada una de ambas esferas tiene la velocidad que la otra tenía antes del choque, y todo ocurre como si las dos esferas se hubieran cruzado simplemente sin modificar su movimiento.

Supongamos ahora que los pesos del molde y de la plataforma libre sean diferentes, y examinemos lo que ocurre cuando se hace variar la relación " K ". Debemos dar las velocidades iniciales " T_1 " y " B_1 ". Tomemos las de la tabla I para 50 H₂ y $y = 3$ g

T_1 velocidad de la masa = - 100 mm/seg.

B_1 velocidad del molde = - 100 mm/seg.

De donde:

$$B_2 = 100 + \frac{1 - K}{1 + K} (100 + 100) = 100 + 200 \times \frac{1 - K}{1 + K}$$

$$T_2 = -100 + \frac{1-K}{1+K} (100 - 100) = -100 + 200 \times \frac{1-K}{1+K}$$

El aspecto de las curvas puede verse en la figura 24. En la tabla II se dan algunos valores de " B_2 ", " T_2 " y también el tiempo " t_2 " empleado en los saltos que corresponden a una velocidad inicial B_2 .

TABLA II

$B_1 = T_1$ mm/segundo	K	B_2 mm/segundo	T_2 mm/segundo	$t_2 = \frac{2 B_2}{g}$ segundo
-100	0	300	100	3 /50
-100	1/5	230	30	2,3/50
-100	1/3	200	0	2 /50
-100	3/5	150	- 50	1,5/50
-100	1	100	-100	1 /50
-100	1.5	60	-140	0,6/50
-100	2	30	-170	0,3/50
-100	3	0	-200	0
-100		-100	-300	

Se ve que cuando el peso del molde es inferior al de la plataforma libre, "la velocidad de partida / B_2 / es mayor que la velocidad inicial de recaída", y "el tiempo del salto es asimismo aumentado". Cuando la relación "K" de las masas crece, la velocidad de partida del molde disminuye haciéndose menor que la velocidad inicial. Para $K > 1$ "es la plataforma la que en su retroceso" resulta con una velocidad mayor que la de llegada. Si el molde pesa tres veces más que la plataforma, "permanecerá inmóvil" en el momento del choque, y la plataforma se alejará con una velocidad igual a la suma algébrica de las dos velocidades iniciales. (Fig. 22)

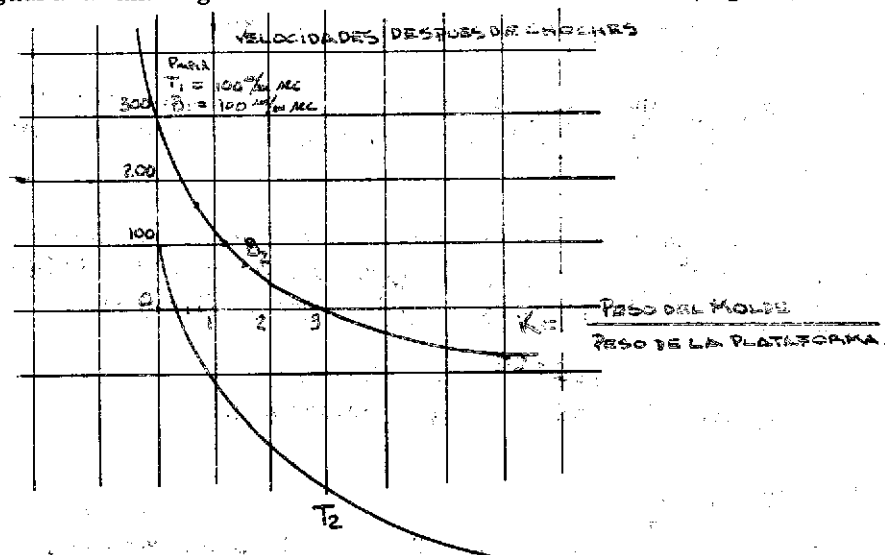


Fig. 22

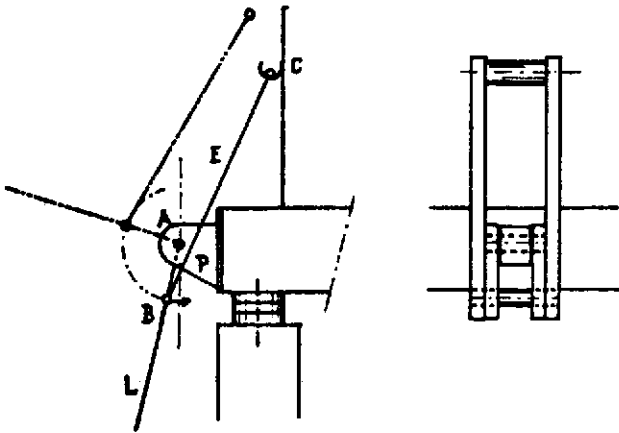


Fig. 22 A

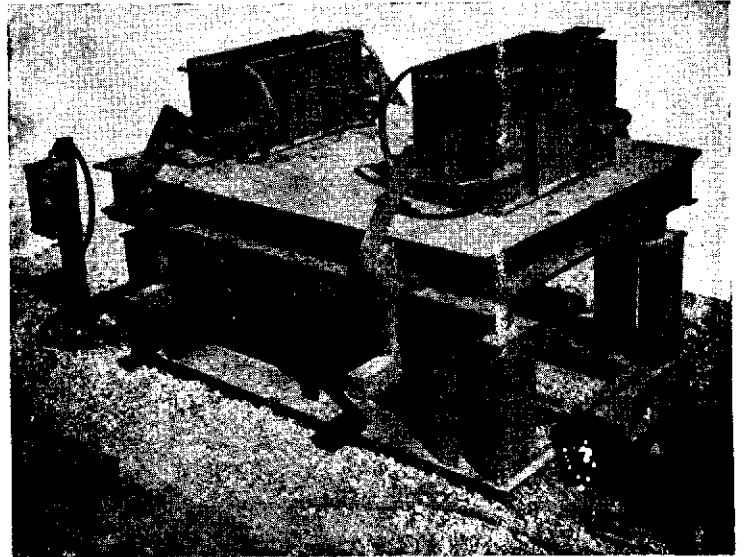


Fig. 23

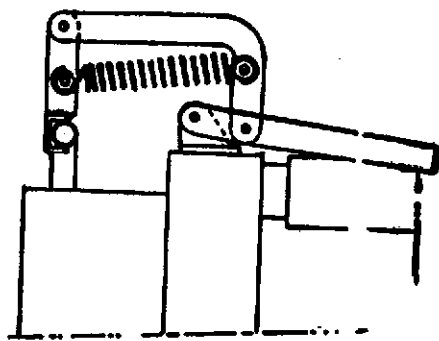
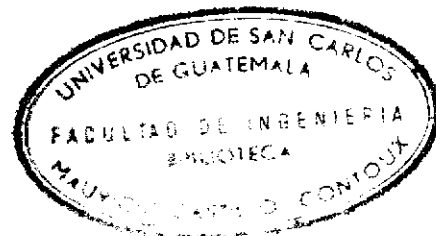


Fig. 24
Sujeción en tres puntos
con compensación elástica



Fig. 25



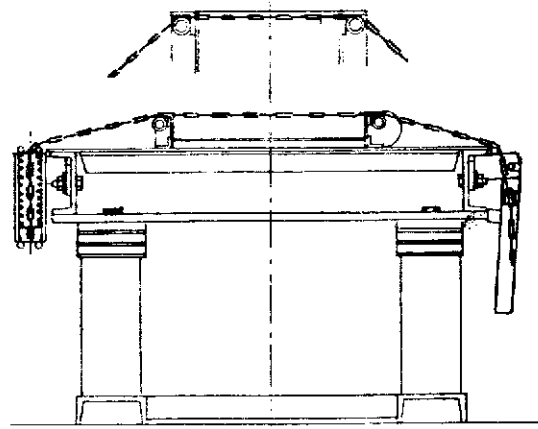
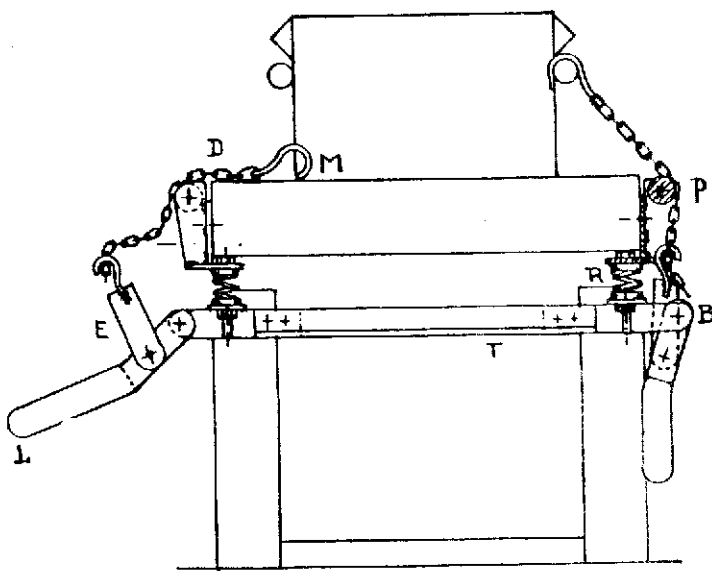
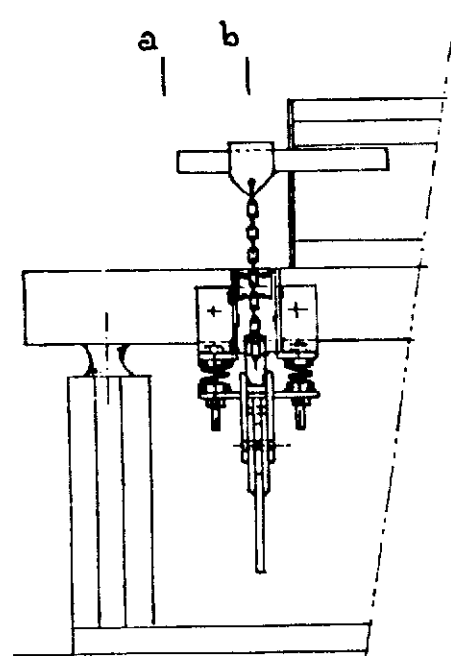


Fig. 26



1/2 sección vertical
en posición sin sujetar



1/2 sección vertical
en sujeción

Fig. 27

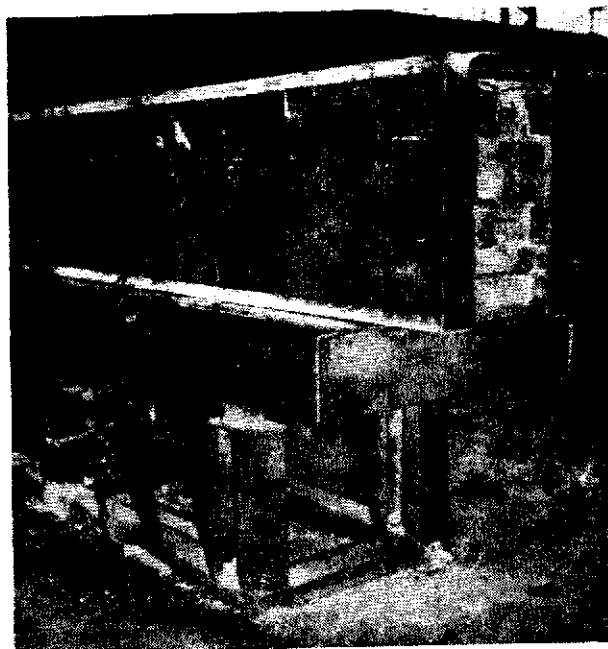


Fig. 28

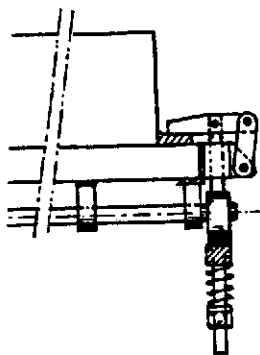


Fig. 29
Sujeción por levas

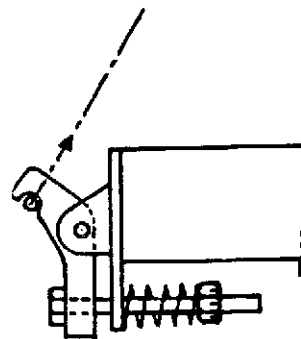
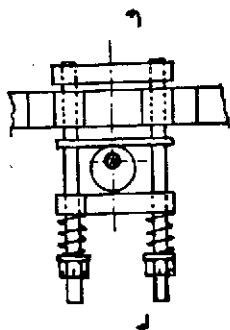


Fig. 30
Elemento articulado para
tensionar el tornillo

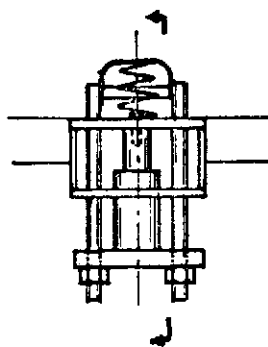
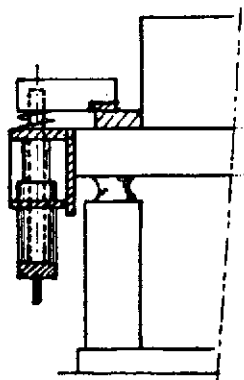


Fig. 31

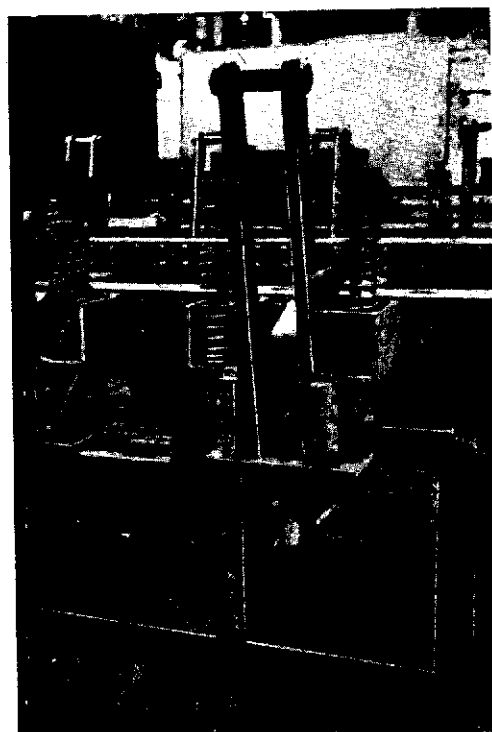
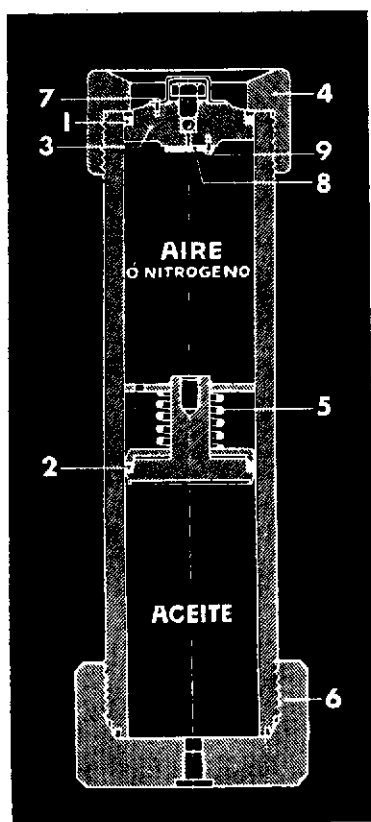
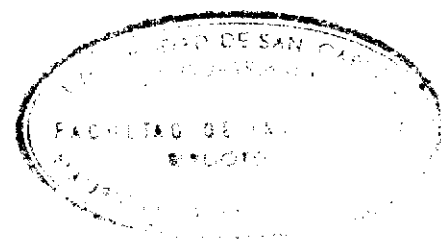


Fig. 32

Movimientos del molde en los choques sucesivos:

Continuemos con hipótesis razonables.

Consideremos el caso compatible con los datos de la tabla II:

$K = 1/3$;
 $B_1 = -200$ mm/segundo, para la recaída;
 $T_1 = 100$ mm/segundo, que correspondería a un máximo de velocidad.
 (El tiempo invertido en un salto $2/50$, múltiplo de $1/50$, nos permite esta hipótesis).

Los nuevos valores son:

K	B_2	T_2	t_2	h
1/3	-250 mm/seg	-50 mm/seg	2, 5/50	3 mm

El tiempo de 2, 5/50 nos hace imaginar que el molde vuelve a caer sobre la plataforma en su período descendente $T_1 = -100$ mm/seg. Lo que ocurre para $B_1 = -250$ mm/seg.:

K	B_2	T_2
1/3	-25 mm/seg	-125 mm/seg

En esta ocasión, el molde está casi parado; y la velocidad de la plataforma hacia abajo viene aumentada.

Es inútil multiplicar los ejemplos. Dos cuerpos que chocan pueden adquirir velocidades completamente variadas. Se ha visto cómo " B_2 " tomaba sucesivamente los valores 100, 200, 250, 25. El período de los saltos resulta por lo tanto extremadamente variable también.

D) Acción de los choques sobre la mesa vibradora

Vemos, pues, que pueden establecerse las mayores irregularidades de movimiento como consecuencia de choques sucesivos entre cuerpos libres. Ahora bien, nuestro problema no es el de una plataforma libre, sino el de una plataforma que, por una parte, está soportada elásticamente y, por otra, sometida a la acción de un vibrador. El estudio matemático de los fenómenos es casi imposible, pero pueden sacarse deducciones lógicas de las observaciones precedentes. Indiquemos, no obstante, que las velocidades de los choques, calculadas, resultan disminuidas ligeramente por la elasticidad de los moldes y las plataformas.

Dicho esto, volvamos al problema del cerrado del concreto. Una buena regla es que el molde reciba impulsos regularmente; siendo necesario para ello que la plataforma esté influenciada lo menos posible por los choques. Conviene, en aplicación de las observaciones hechas más arriba, que esta última sea pesada y rígida en comparación con el molde y que la unión elástica entre la plataforma y el bastidor de la mesa firmemente sujeto a su base, sea lo bastante rígida para que el conjunto sea totalmente solidario en sí, en el momento del choque.

Influencia de los apoyos elásticos:

Intervienen las características de los apoyos y la técnica de su montaje. Pues los moldes al volver a caer sobre la plataforma le comunican un movimiento descendente que comprime los apoyos.

Si la flecha que resulta es superior a la que corresponde a la vibración de la mesa, la descompresión que sigue de los apoyos provoca una perturbación suplementaria.

De esta forma, hemos comprobado en ocasiones que el molde saltaba con una frecuencia lenta que parecía coincidir con el período natural de los apoyos, el cual es de 10 a 20 Hz, no siendo ilógico pensar en una resonancia de los elementos intermedios: paletas cilíndricas, uniones elásticas radiales, resortes, etc. Estos fenómenos se hacen menos frecuentes cuando se reducen las oscilaciones de la plataforma mediante limitadores verticales.

Acción de los choques sobre el vibrador:

¿Qué le ocurre al vibrador bajo la avalancha de los golpes? ¿Permite su potencia regularizar los choques en el valor y frecuencia? Puede decirse que provoca regularmente los golpes, pero esto no basta para regularizar los movimientos del molde con lo que la frecuencia de los choques varía en el curso del relleno. Por otra parte, los movimientos desordenados del eje de rotación del vibrador y las variaciones continuas de la fuerza viva del conjunto accionado hacen que la potencia absorbida varíe constantemente y aumente de forma no despreciable. Las consecuencias son conocidas: intensidad de corriente absorbida superior a la admisible por los motores eléctricos, destrucción progresiva por efecto de los choques de bobinados y conexiones, reducción de la vida de los rodamientos, etc.

E) Conclusiones prácticas sobre la utilización de los choques en la mesa vibradora

Las consideraciones precedentes nos permiten abordar el punto de vista práctico del estudio.

Hemos visto que los choques de los moldes sobre las mesas originan fuerzas. Estas, actuando en el sentido de la gravedad pueden, si están limitadas en magnitud, vencer fricciones internas y fuerzas de viscosidad, y provocar el cerrado del concreto. Su intensidad, en ciertos casos, puede resultar incluso más elevada que las fuerzas vibradoras de la mesa, y sus efectos mejores según las apariencias, particularmente en el relleno inicial del molde. Pero, la enorme irregularidad de la frecuencia y del valor de las percusiones, hace que el empleo de choques no sea aconsejable en general, atendiendo a muchas razones que nosotros resumimos.

1) En el caso normal en que la relación del peso del molde al de la plataforma es bastante pequeña y la fuerza centrífuga pequeña, el molde salta sobre la mesa con intervalos de tiempo casi regulares, pero con una frecuencia sensiblemente igual a la mitad de la del vibrador. El usuario que crea disponer de frecuencias de 3,000 ó 6,000 ciclos por minuto, sólo obtendrá de hecho las ventajas (o los inconvenientes) de una frecuencia de 1,500 ó 3,000 ciclos por minuto.

2) Una sucesión de choques puede provocar en forma continua una alternancia de compactación y aflojamiento entre los elementos del concreto. Recordemos a este respecto que las mesas de sacudimiento (o sea de choques) se utilizan habitualmente para el compactado de

arenas de mina. Las plataformas oscilantes son cuidadosamente guiadas en su movimiento y los moldes sólidamente sujetos con pernos a las plataformas, de tal forma que el impacto del choque esté perfectamente centrado. La menor irregularidad en su reglaje conduce a la imposibilidad del compactado de la arena, por lo que la máquina se comprueba a menudo por el procedimiento de control siguiente: se coloca una moneda de canto reposando sobre la plataforma, durante la sucesión de sacudidas la moneda debe continuar en su posición de canto.

Es evidente que la técnica consistente en dejar que un molde se pasee por la mesa, cayendo sucesivamente sobre distintos ángulos, no toma en consideración las precauciones reseñadas más arriba. El cerrado del concreto, aunque permita el desmoldeo inmediato, sólo podrá ser irregular en el interior de la masa del producto fabricado.

3) Para una fuerza centrífuga normal e igual a varias veces la gravedad, un aumento demasiado grande del peso del molde con respecto al de la mesa origina movimientos desordenados.

El molde no puede mantenerse sobre la mesa, haciéndose imposible la operación. Esto ha sido demostrado con anterioridad por el cálculo de los períodos sucesivos; pero el típico ejemplo que ofrecemos a continuación hará más comprensible la cuestión.

Ciertos ingenieros, partidarios del empleo de los choques sobre mesas, fundamentan su opinión en el hecho de que han obtenido con probetas de concreto fabricadas en moldes, solamente apoyados, resistencias a la comprensión superiores a las logradas con probetas realizadas en moldes sujetos a la mesa. Esto es matemática y científicamente aceptable, en el caso particular en que se emplee una fuerza centrífuga bastante débil: las fuerzas vibratoras conducen a un límite inferior de cizallamiento, dado que limita el cerrado, por lo que es posible que las fuerzas desarrolladas en los choques sean más elevadas y efectivas, permitiendo un cerrado más perfecto. Pero lo aventurado está en la extrapolación a gran escala.

Supongamos que el peso de la probeta y su molde sea de 30 kg, el de la plataforma de la mesa y de su vibrador 150 kg, y la aceleración 2 g. Propongamos fabricar en las mismas condiciones un conducto de pozo que pese en su molde 900 kg, es decir, 30 veces más que la probeta. Sería preciso emplear lógicamente, para establecer la proporción adecuada, una plataforma que pesara $150 \times 30 = 4,500$ kg. Esta concepción es contraria al uso de la construcción metálica. La mesa pesará tal vez 400 ó 500 kg, con lo que las reacciones de choque serán completamente distintas e irregulares, imponiéndose la sujeción del molde. El ejemplo nos ha demostrado también, que debemos ser cautelosos en cuanto a justificar la resistencia de un concreto en masa por la fabricación independiente de una probeta.

4) Los choques son destructores, particularmente con frecuencias altas. Todo comentario a este respecto resulta superabundante.

5) Los choques, sobre todo en el caso de mesas vibratoras, provocan el desplazamiento continuo de los moldes, requiriéndose un tiempo considerable perdido en las manipulaciones necesarias para volverlos a su posición debida.

6) Por las razones enunciadas anteriormente, es absolutamente imposible establecer reglas que sirvan como métodos industriales de fabricación.

Ciertos constructores dicen que el empleo de moldes libres ahorra tiempo y adoptan este procedimiento no por razones científicas, sino por razones económicas. Es evidente que el sistema de sujeción utilizado debe ser eficaz, sólido y de funcionamiento rápido. Tales sistemas existen, pero es preciso reconocer que están poco extendidos. Ahora bien, como el progreso va unido con el avance y la vulgarización del material, es seguro que el empleo sistemático de la sujeción de los moldes pondrá punto final a toda controversia.

3.2.2 Descripción de los sistemas de sujeción

A continuación describimos algunos métodos de sujeción de los moldes a las plataformas vibradoras (la unión solidaria directa del vibrador al molde ya ha sido tratada anteriormente). La experiencia demuestra que para que una sujeción sea eficaz y económica debe estudiarse y ser establecida según ciertas reglas de construcción que vamos a intentar explicar.

A) Fijación por pernos

La sujeción rígida por medio de pernos, que es la que se ofrece como más natural a la mente debe, no obstante, evitarse en todo lo posible. Esta opinión podría estar suficientemente justificada por la lentitud necesaria en el apretado de las tuercas, la fragilidad de los tornillos, el aplastamiento y la deformación rápida de sus roscas, etc., pero aún existen otros inconvenientes mayores.

La solidaridad del molde y la plataforma hace que su elemento de unión esté sometido a cambios brutales de inercia. Consecuencia de lo cual es que se originan en la chapa, bajo el contorno del molde, efectos de presión y tensión alternados, que terminan por romper la plataforma. Además, una excesiva rigidez en la sujeción del molde a la plataforma puede motivar vibraciones locales de las paredes, vibraciones que provocan en el concreto movimientos parásitos, tales como efectos de giro, ebullición, etc.

B) Regla de la fijación elástica

Los mejores resultados con respecto al cerrado del concreto se obtienen estableciendo entre el molde y la plataforma uniones elásticas en las que la fuerza total de apoyo es aproximadamente igual a la fuerza vibradora. Un sistema como el indicado no transmite esfuerzos horizontales y permite que la chapa de la plataforma se ondule sin estar sometida a tensiones excesivas. El sistema de sujeción puede estar constituido por uniones mecánicas o por sistemas hidráulicos. La elasticidad de la sujeción se obtiene por medio de resortes o por elementos de compresión de aire o aceite. En ciertos casos se puede admitir que el molde efectúe ligeros saltos sobre la mesa, pero siempre con la condición de que la amplitud de los saltos sea una fracción de la vibración original. En estas condiciones se conserva la frecuencia original, y los pequeños choques pueden ejercer un beneficioso efecto en el cierre de concretos que tengan un elevado límite inferior de cizallamiento. (Este fenómeno puede observarse en las máquinas vibradoras cuyos moldes poseen núcleos interiores para su sujeción por pernos. Un ligero aflojamiento de los pernos aumenta el rendimiento del relleno, para satisfacción del encargado de hacerlo. . . , y molestias del mecánico de reparaciones que, al cabo de algunas horas de funcionamiento en tal régimen, deberá sustituir los bulones rotos y soldar las chapas).

El tipo de sujeción a adoptar depende la concepción de la máquina vibradora (prensa, mesa. . .), y de las condiciones de manipulación del molde (elevación vertical, desplazamiento por deslizamiento longitudinal o transversal).

Los ejemplos presentados a continuación pueden dar una idea de las numerosas posibilidades que se ofrecen a los usuarios.

C) Sujeciones mecánicas

En estos tipos de fijación, el sistema elástico se obtiene por medio de resortes, efectuando el apretado de los mismos por medio de palancas, levas y algunas veces por tensores de tornillo.

Sujeción con palanca (tipo tres puntos)

Este tipo es el más corriente y se inspira en los dispositivos de cierre utilizados en baúles, tapones de gaseosa, etc.

En principio consta (Fig. 22A) de: una chapa (P) fija a la plataforma, una palanca (L) que gira alrededor del eje (A) de la chapa, un estribo (E) articulado en el eje (B) de la palanca, y el cual se puede enganchar en un gancho (C) de la pieza que se trata de sujetar. El giro de la palanca hace bajar o subir el estribo. En posición de sujeción, la línea CB queda a la derecha de A, de tal forma que la palanca sea empujada automáticamente hacia la plataforma y resulte estabilizada.

La figura 23 muestra la aplicación del dispositivo a la sujeción de moldes de bloques por medio de dos palancas. Los estribos (2) se substituyen por ganchos que se sujetan a las agarraderas del molde. La elasticidad de la sujeción se obtiene fijando la chapa a la plataforma por intermedio de un apilamiento de rodela Belleville. Un sistema como el descrito exige que se respeten escrupulosamente las cotas de posición de los puntos A, B, C, puesto que la elasticidad de las rodela resulta insuficiente para compensar las tolerancias normales de ejecución.

Las figuras 24 y 25 muestran una modificación ventajosa de este sistema. El gancho rígido es reemplazado por dos brazos articulados y cerrados por dos resortes de tracción. Este dispositivo se utiliza con buen éxito desde hace quince años en la sujeción de moldes para canales, losas, bordillos, etc.

Los ganchos de longitud fija son difícilmente utilizables cuando se trata de sujetar fuertemente moldes de diversas dimensiones, habiéndose intentado sustituirlos por cadenas a las que se pueden hacer variar su longitud según los eslabones.

La figura 26 muestra un dispositivo en el que una cadena, sujeta a un resorte, pasa por encima de las agarraderas del molde y se tensa por medio de una palanca con articulación fija a la plataforma. El resorte se mantiene en una caja sujeta al borde de la mesa.

Con este montaje la caja que contiene el resorte puede ensuciarse con el concreto en exceso que se trabaje. Nosotros recomendamos en cada caso la sujeción más idónea.

La figura 27 ofrece los detalles de fabricación. Las chapas (B), que se hacen por parejas enfrentadas, se colocan según extremos de una traviesa (T) situada bajo la plataforma de la masa, a la que va unida por resortes de compresión (R). Dos cadenas (D), de longitud regulable, se enganchan por sus eslabones a los estribos (E) de las palancas (L), pasan sobre las poleas de reenvío (P) y en sus extremos llevan los ganchos (M), por los que se sujetan a las asas o agarraderas del molde. La figura 28 ofrece su aplicación en la vibración de una viga de 500 kg sobre una mesa de 0,75 X 3 m.

Esta disposición moderna ofrece las siguientes ventajas: resortes de compresión protegidos del concreto, regulación instantánea de la longitud de las cadenas, soporte de las cadenas por medio de poleas, independencia total de la plataforma una vez efectuada la colada. Recomendamos plenamente su uso.

Sujeción con levas

La figura 29 muestra un dispositivo de sujeción que se ha utilizado en la fabricación de traviesas de ferrocarril. El molde transportado por un monocarril, que se desliza sobre la plataforma de la mesa, va provisto de cuatro salientes laterales que se sitúan bajo los picos de sujeción. Estos últimos van montados al extremo de dos vástagos guiados, que son tendidos hacia abajo por el juego de unas levas cilíndricas fijas dos a dos sobre un árbol transversal soportado por cojinetes solidarios a la plataforma en su parte inferior. El árbol se acciona por medio de una palanca. Los resortes convenientemente comprimidos, y situados en la parte baja de los vástagos, aseguran la constancia del apretado.

Sujeción por medio de tensores

Este sistema se utiliza para lograr la firme sujeción de piezas pesadas cuya cadencia de fabricación es lo bastante lenta como para permitir que se dediquen 30 segundos a la fijación del molde.

Se emplean tensores del tipo Marino, resistentes, en los que un extremo se fija en un enganche del molde y el otro a un elemento articulado bajo la plataforma de la mesa. Unos resortes comprimidos inicialmente actúan sobre el elemento articulado y limitan la fuerza de sujeción (figura 30).

D) Sujeción mediante gatos hidráulicos

Este es el procedimiento que exige más investigaciones, pero es el más seguro y el de mayor aplicación industrial.

El empleo de gatos de aceite de simple o doble efecto y bombas a mano o de motor, se ha hecho clásico y permite toda clase de combinaciones. Es conveniente, no obstante, mantener la regla de la sujeción elástica. Para ello es preciso introducir en el circuito de cierre un acumulador (regulador) con gas de pequeña capacidad, cuya función es, por una parte, mantener la presión constante a pesar de la acción de vibración y, por otra, para compensar eventualmente pequeñas fugas. El acumulador es una botella estancada (fig. 31), cilíndrica, dividida anteriormente en dos cámaras por medio de un pistón libre. Una de las cámaras contiene nitrógeno comprimido a la presión mínima que se trata de mantener, y la otra recibe el aceite que impulsa el pistón al fin de la operación de cierre. Una botella de 0,300 litros es suficiente en la mayoría de los casos.

Sujeción con gatos de compresión

Los tensores más corrientes son los de simple efecto. Trabajan sólo a extensión, resultando necesario con frecuencia el acoplamiento a ellos de una brida de tracción y añadirles resortes en el mismo sentido.

La figura 32 muestra el dispositivo que se adoptó para la sujeción de los moldes empleados

en la fabricación de los bloques de revestimiento de Bortles-Orgues (Revue des Matériaux de Construction, núm. 532).

Un gato de compresión accionado de arriba a abajo se apoyaba por un lado en un resalto de la plataforma de la mesa, y por otro sobre una brida empujándola hacia abajo. Esta última se enganchaba en un saliente del molde, aproximándose o alejándose automáticamente por el juego de dos tetones, deslizándose en agujeros practicados convenientemente. El vaciado del gato se lograba por la acción de resortes. Se disponían ocho elementos de sujeción por mesa vibradora siendo alimentados por un acumulador de contrapesos, de gran capacidad.

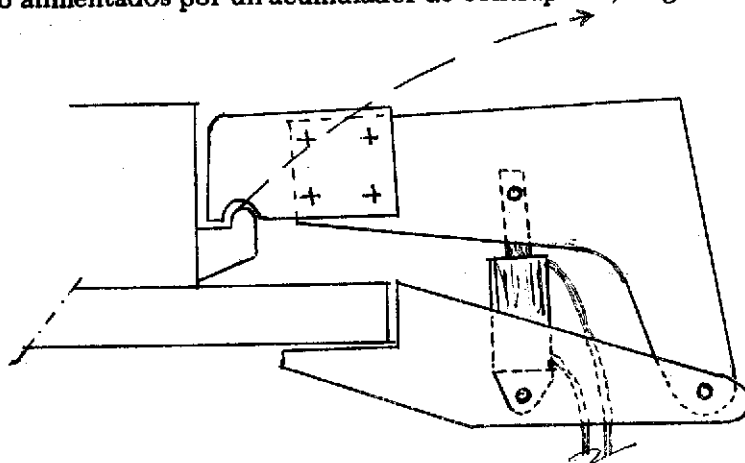


Fig. 33

La figura 33 representa el croquis de una sujeción en la que un gato de compresión hace descender dos vástagos guiados, sobre los que va soldado un pico de cierre. La elevación del pico va mandada por un resorte de compresión. La mesa vibradora forma parte de una cadena de fabricación en la que los moldes son transportados por un monocarril, desplazándolos paralelamente a la plataforma de la mesa. Se prevén cuatro elementos de sujeción por mesa.

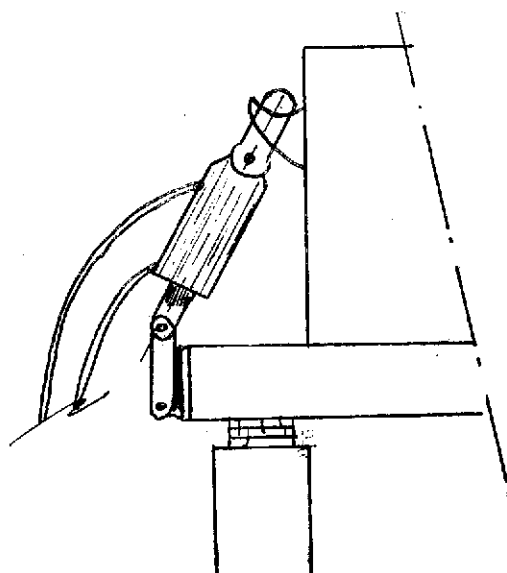


Fig. 34

Sujeción con gatos de doble efecto

Estos elementos de sujeción, como pueden trabajar a tracción y a compresión, son extraordinariamente cómodos. Necesitan dos circuitos de aceite y se utilizan generalmente para trabajar a tracción, es decir, según su efecto mínimo; pero la simplicidad de los montajes a que conducen justifica los gastos de su instalación.

Para moldes bastante altos, se pueden utilizar directamente, tal como se indica en la figura 34. Se fija el cuerpo en el molde por un gancho dispuesto en éste, el pistón se sujeta por medio de una chapa a la plataforma, o, mejor, por una biela intermedia que tiene por objeto permitir, por basculamiento, la separación total de la plataforma.

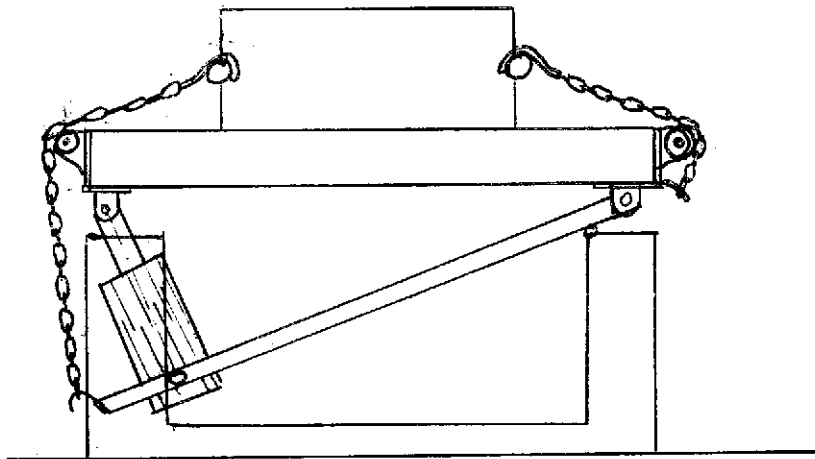


Fig. 35

Los moldes bajos pueden sujetarse por medio de pinzas semejantes a la ofrecida en la figura 35 y en la que el brazo horizontal es telescópico.

Finalmente, hay que decir que el problema de la sujeción de moldes de dimensiones varias es tributario de las cadenas con ganchos, las cuales pueden tensarse mediante un brazo, bajo la plataforma, articulado en un extremo y accionado en el otro por un gato con doble articulación (figura 35). Con moldes de peso medio puede tensarse sólo una cadena, mientras que la correspondiente que se le enfrenta está sólo enganchada a la plataforma de la mesa.

La figura 36 muestra el esquema de la instalación hidráulica a prever.

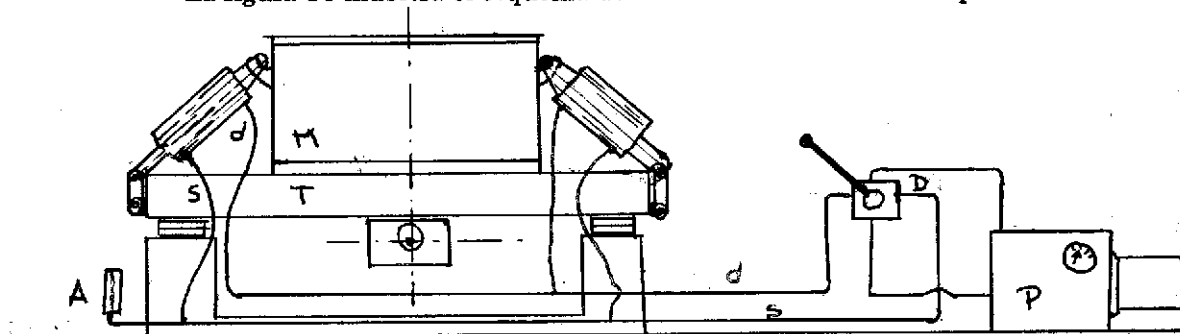


Fig. 36

Para más seguridad, se podrá adoptar una presión de trabajo de 80 kg/cm². El distribuidor se elegirá del tipo rotativo.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

CAPITULO IV

CONCLUSIONES GENERALES

- 4.1 Hemos determinado la necesidad de la vibración básicamente resumida en que: se obtiene un llenado más homogéneo, mejora ciertas condiciones del concreto las cuales pueden compensar defectos en otras operaciones, hace más fluida la mezcla de modo que reduce la cantidad de agua necesaria, pudiendo en esta forma disminuir la cantidad de cemento reduciendo el costo.
- 4.2 Podemos por ello decir que la forma más adecuada de trabajar el concreto es sometándolo a vibración.
- 4.3 No se puede decir apriorísticamente cuál es el tipo más adecuado de vibración o la mejor para cualquier uso ya que para cada caso existe un tipo de vibración y ésta sólo se puede determinar conociendo exactamente las características de los materiales.
- 4.4 Determinar el tipo de vibración es absolutamente necesario si se quiere garantizar una vibración homogénea y como resultado de un producto de calidad.
- 4.5 También es necesario definir cuál es nuestro problema de vibración y así llegar a establecer qué tipo es el que más conviene por sus características de: frecuencia, amplitud, fuerza de impacto, masa, dirección de la vibración, sistema de sujeción, y tipos de apoyos.
- 4.6 En algunos casos se prefiere el impacto a la vibración pero sólo en el caso de productos ligeros y de agregados muy finos; pero para poder decidir habría que explorar los resultados, examinar los valores de los choques en función de la variación de peso del molde y la plataforma, el efecto de la variación de las bases. Por último, se admite por los usuarios de impacto, que aún no se ha podido encontrar un método de cálculo de los choques en función de las características de las bases.

CAPITULO VI**BIBLIOGRAFIA****HORMIGON VIBRADO Y HORMIGONES ESPECIALES**

M. Paya Peinado

Ediciones CEAC, S.A. 1970

TECNICA Y PRACTICA DEL HORMIGON ARMADO

Enrique Casaprima Cabal

Ediciones CEAC, S.A. 1972

CONCRETO PREFABRICADO

G.F. Kusnetzov

Editorial Reverté, 1954

ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE PREFABRICACION

Walter Meyer-Bohe

Editorial Blume, 1969

UTILLAJES MECANICOS

Mario Rossi

Editorial Científico-Médica, 1963

MANUAL DE LA CONSTRUCCION CON PIEZAS PREFABRICADAS

Walter Meyer-Bohe

Editorial Blume, 1969

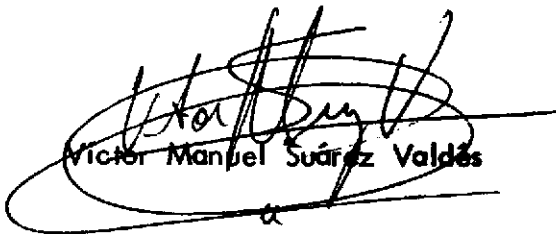
GUIA PRACTICA DE LA VIBRACION DE HORMIGONES

P. Rebut

Editores técnicos asociados 1965

MECANISMOS HIDRAULICOS

Editorial Gustavo Gili, S.A. 2ª edición.

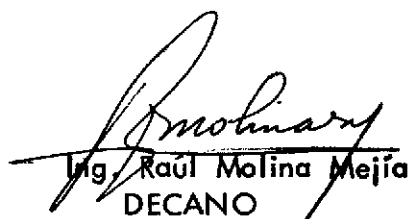

Victor Manuel Suárez Valdés


Ing. Jorge Mario Morales G.
Asesor


Ing. Mario Domingo Samayoa F.
Asesor


Ing. Manuel Angel Castillo Bargas
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

IMPRIMASE:


Ing. Raúl Molina Mejía
DECANO