

CONSOLIDACION DEL HORMIGON

aci journal abril 1980. redactado por el comité
609 del aci. segunda parte. continuación
del número 6 de TECNICA Y CREACION

202.—HORMIGON DE ESTRUCTURAS

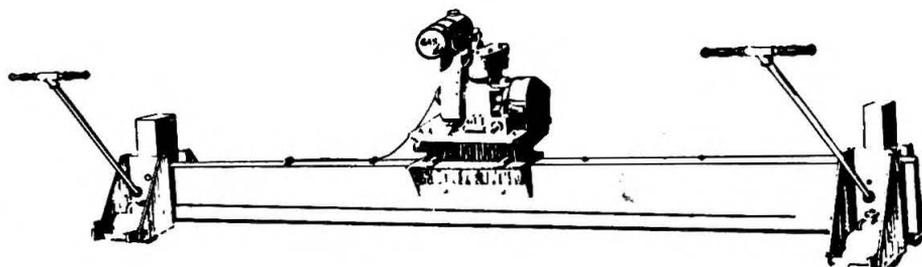
Para la mayoría de los hormigones empleados en estructuras, la vibración es más eficaz usando vibradores corrientes de inmersión, de los tipos de eje flexible (Fig. 1) o de aquéllos que llevan el motor incluido en el elemento vibrador. El funcionamiento es, en general, satisfactorio cuando los vibradores están bien mantenidos y poseen la energía adecuada, que es el caso de la mayoría de los vibradores actualmente en uso. La vibración correcta se logra introduciendo en el hormigón vibración suficiente para hacerlo más fluido y consolidarlo. Para vibradores de inmersión, usados en hormigón de estructuras, se recomienda una velocidad mínima de 7.000 rpm. Un buen resultado se asegura cuando el vibrador es introducido en el hormigón fresco (1) verticalmente, si la profundidad del hormigón es suficiente para embeber la aguja del vibrador; de otro modo deberá inclinarse lo necesario para que la aguja del vibrador trabaje totalmente sumergida, (2) penetrando suficientemente en la capa inferior (si ésta existe), (3) a espacios distanciados regularmente y suficientemente próximas, como para asegurar la total consolidación (4). La duración adecuada es de 5 a 10 segundos en cada penetración.

Los vibradores para moldaje (Fig.

2), se utilizan para consolidar el hormigón en la prefabricación de tubos y elementos estructurales, piezas pretensadas, revestimiento de túneles y, como suplemento de la vibración interna en los sectores donde las armaduras de acero se concentran por lo general. Igualmente donde el hormigón no puede ser colocado directamente sino que debe escurrir hasta su ubicación, o en los casos en que el vibrador interno no puede ser introducido. Debe evitarse la vibración excesiva concentrada en algunos puntos cuando se utilice vibración externa. Los vibradores deben trasladarse, tanto como sea necesario, para mantener su acción por debajo del nivel de hormigón colocado, y no en sectores vacíos del moldaje.

En el revestimiento de túneles, los vibradores de moldaje deben usarse solamente para movimientos laterales y descensos en vertical y consolidación de arcos, en ningún caso para movimientos longitudinales. Su mejor aprovechamiento se logra fijándolos en un punto superior cerca del terminal del tubo de descarga del hormigón, y debe operarse coordinadamente para una breve vibración durante la descarga del hormigón en el arco, cuando esté a punto de llenarse, inmediatamente antes que sea retirada la tubería de descarga. La vibración posterior al término de la descarga del

Vibrador de superficie
para consolidar losas
delgadas.



hormigón y retiro del tubo, causará descenso en el hormigón y su salida del arco, cuando no puede rellenarse.

Un método eficiente para vibrar el hormigón en zonas excepcionales de concentración de armaduras, es unir un vibrador de moldaje a la armadura. En el caso de un vibrador de inmersión, es muy difícil acondicionar su unión a las armaduras. Aunque muchos han sugerido un posible daño en la adherencia entre acero y hormigón causada por la vibración transmitida a través de las armaduras hasta el hormigón parcialmente fraguado de capas inferiores, el comité, en un examen cuidadoso, no encuentra base para tales temores. Aparentemente la amplitud llega tan amortiguada que no produce daño; y si algo ocurre sería sólo una revibración benéfica.

La vibración adecuada se juzga principalmente por el aspecto de la superficie. Los testimonios principales que aseguran la evidencia de una vibración adecuada son: la inmersión del agregado grueso, relativa nivelación de la colada, fusión aparente del perímetro de la colada con el hormigón colocado anteriormente, y cese en general del escape de grandes burbujas de aire atrapado.

Algunas veces, la tendencia de la cuadrilla vibradora es solamente aplanar la colada. La consolidación completa se asegura sólo cuando esos otros aspectos que dan la evidencia de una vibración adecuada se proponen y se logran. Particularmente importante es la vibración con profundidad y espaciamiento adecuado.

203.—LOSAS DE HORMIGON

Las losas delgadas, por ej. aceras y pisos, se consolidan mejor con un vibrador de superficie (Fig. 3). El Co-

mité recomienda que tales maestras vibradoras se usen en todas las losas o placas de menos de 20 cm. de espesor, y que las maestras vibradoras en conjunto con vibración interna se usen en losas de 20 a 30 cm. de espesor. Losas de mayor espesor deben ser consolidadas con vibradores de inmersión.

Las guías de borde o rieles sobre las que trabaja la regla vibradora deben ser colocadas 3 a 6 mm. bajo el nivel de terminación, dependiendo del espesor de la losa.

El equipo de vibración debe ser del tipo de baja frecuencia y de alta amplitud, que opere a velocidades de 3.000 a 4.500 rpm. Si la velocidad es regulable, debe usarse la máxima en la primera etapa y la mínima en la segunda.

Los pavimentos y pisos de hormigón de consistencia de tierra húmeda se tratan en otros capítulos de este informe.

204.—HORMIGON EN MASA

En los Estados Unidos, el hormigón en grandes masas se coloca generalmente en capas de 1,50 m. a 2,25 m. cada una integrada a su vez por una serie de capas de 0,35 a 0,50 m. En Canadá y algunos otros países, frecuentemente, se usan espesores mayores. El hormigón se deposita en cantidades sobre los 6 m³. lo más cercano posible a su ubicación definitiva. El hormigón se coloca en la masa monolítica en una serie de peldaños desde el extremo inferior al superior, manteniendo en un mínimo la superficie expuesta del hormigón. El "Manual de Hormigones" del U. S. Bureau of Reclamation contiene un excelente estudio para la preparación y colocación del hormigón en masas.

Los vibradores de inmersión de alta velocidad consolidan mejor el hormigón en grandes volúmenes. Generalmente las máquinas para este tipo de trabajo son manipuladas por dos hombres, aunque existen instrumentos de alta velocidad que realizan un trabajo eficiente con un solo hombre. La frecuencia de los vibradores para consolidar hormigón en masa no debe ser menor de 6.000 rpm., al estar sumergidos, con agujas mayores de 10 cm. de diámetro. La frecuencia mínima para vibradores de agujas de 10 cm. o menos de diámetro debe ser 7.000 rpm. Se pueden adquirir vibradores que trabajan a velocidades mayores de 11.000 rpm.

La fuerza motriz de los vibradores puede ser aire comprimido (Fig. 4) o electricidad (Fig. 53). En el tipo de aire comprimido, se **deben tomar precauciones** para asegurar una presión que mantenga la velocidad de vibración requerida. La velocidad de vibración puede ser fácilmente comprobada por un tacómetro especial que se apoye contra la superficie del moldaje cerca del vibrador o contra el mango del vibrador mientras éste está sumergido en el hormigón.

La cantidad de hormigón que puede ser consolidada por un vibrador variará según el tipo de aparato, la experiencia de los operadores, y las características de la ubicación del hormigón. En lugares despejados, una cuadrilla eficiente puede colocar hasta 30 m³. por hora por vibrador. El impreso "Vibration for Quality Concrete", de la Portland Cement Association, sugiere de 11,5 a 30 m³. por hora para vibradores de dos operadores, de servicio pesado. Alrededor de las zonas de empotramiento o apoyo y en moldajes complicados la cantidad coloca-

da se acercará al mínimo establecido anteriormente.

Para colocar eficientemente el gran volumen de hormigón que entra en el moldaje es necesario llevar a cabo una pauta sistemática que sea seguida por la cuadrilla de colocación. El vibrador debe ser introducido en posición lo más vertical posible cercano a la cúspide de la acumulación de hormigón que resulta de la descarga del cubo de transporte. La cantidad de hormigón de la pila hará necesario que se usen simultáneamente dos o más vibradores dispuestos en forma simétrica alrededor de su perímetro. Después del descenso la masa debe ser vibrada sistemáticamente en áreas superpuestas y a la profundidad requerida. Las distancias para la introducción y retiro dependerán del vibrador y del hormigón por consolidar. Los radios efectivos de vibración deben ser trasladados aproximadamente en medio radio. Dichos puntos de inserción deben estar separados de 45 a 80 cm. Es preferible un distanciamiento cercano que demasiado lejano. El vibrador debe ser introducido en toda la profundidad de la capa en colocación y en la capa inferior. El vibrador debe ser mantenido funcionando en un lugar hasta que el hormigón esté totalmente consolidado; entonces debe ser retirado lentamente para asegurar el cierre del hueco producido por la introducción del vibrador. El tiempo necesario para efectuar la consolidación total dependerá de la trabajabilidad del hormigón y de la energía comunicada por el vibrador. El tiempo de vibración debe ser mínimo, 5 seg. y máximo 20 seg. por punto de aplicación. El uso de un vibrador pequeño de 7,5 cm. de diámetro de alta frecuencia y baja amplitud que actúe en las zonas cercanas al moldaje, no en contacto con las pa-

redes del moldaje, reducirá posteriormente los vacíos del aire atrapado.

En Europa en los últimos años se han usado series de vibradores para consolidar hormigón en presas. Varios vibradores de inmersión son montados en un bastidor e introducidos en la masa de hormigón por un equipo especial similar a un bulldozer. Estos juegos de vibradores pueden ser manipulados eficazmente por una grúa o máquina similar.

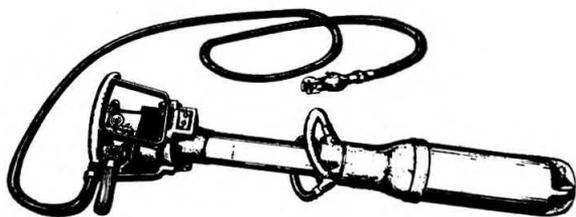
205.—HORMIGON DE PAVIMENTOS

En teoría, la vibración debería ser ideal para consolidar hormigón de pavimentos, colocados con un slump relativamente bajo. Actualmente es de uso general en losas gruesas, tales como el pavimento de aeropuertos militares, y va en aumento su uso en losas más delgadas como las de autopistas.

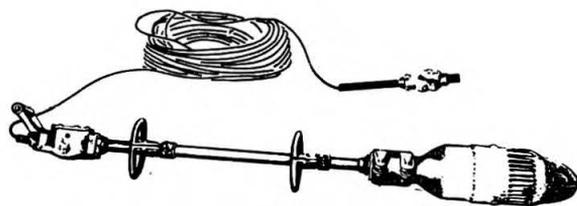
Se pueden adquirir varios tipos de equipos para consolidar losas de pavimentos. Aunque el espesor de la losa no es el único factor que debe ser considerado al seleccionar este equipo, el Comité cree que es el factor individual más importante.

a) **Vibración de pavimentos gruesos.**—Para pavimentos de 30 cm. o más de espesor, la vibración interna es necesaria para asegurar la consolidación adecuada a través de todo el espesor de la losa. Los vibradores deben ser colocados en un bastidor en la parte posterior de la máquina que coloca el hormigón o en un carro separado que también se mueva sobre el moldaje del pavimento, o pueden ser unidos a un bastidor dispuesto adelante de la primera regla de terminación. Los vibradores deben estar preparados para que funcionen sólo durante el movimiento de avance y para que todos tengan una partida y una detención simultánea.

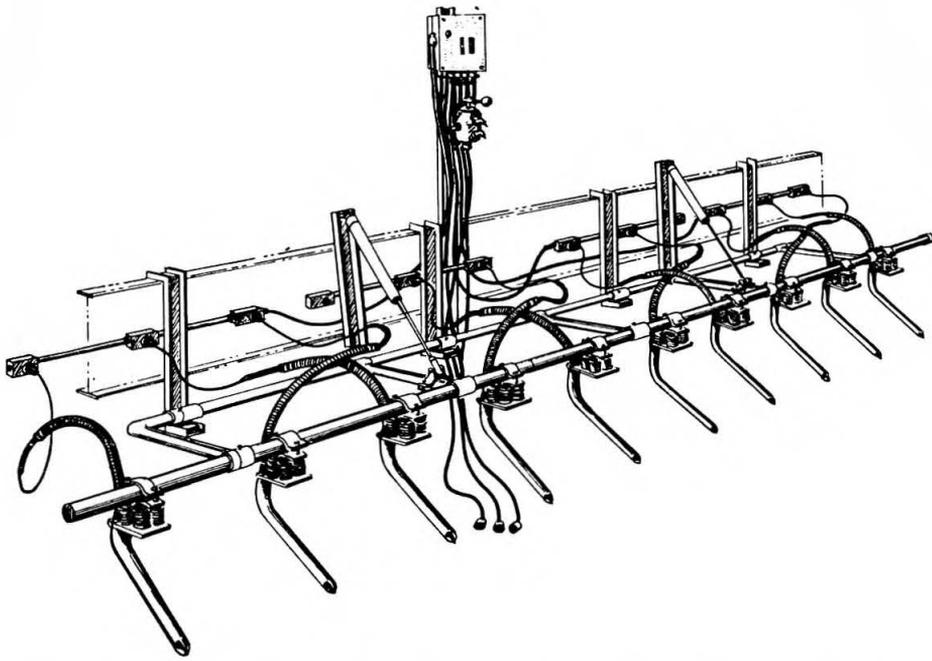
Las agujas de vibradores internos similares a las usadas para consolidar hormigón de estructuras, deben ser montadas en un bastidor horizontal que se controla de tal manera que los vibradores pueden ser rápidamente levantados o bajados (Fig. 6). Deben trabajar en una posición fija para una mejor consolidación, preferentemente un poco más abajo de la mitad del espesor de la losa pero, en ningún caso deben llegar a menos de 5 cm. de la base. Los vibradores deben trabajar



Vibrador neumático de servicio pesado, manejado por dos operarios; para hormigón en masa de bajo slump.



Vibrador eléctrico de servicio pesado manejado por dos operarios para hormigón en masa de bajo slump. Modelo con motor en la aguja vibradora.



Serie de vibradores internos montados en un bastidor para permitir que los vibradores puedan ser rápidamente levantados o bajados.

sólo durante el movimiento de avance del carro. Cuando este método produce una segregación apreciable, los vibradores deben ser introducidos y retirados a intervalos no mayores que la distancia transversal entre ellos.

Pueden adquirirse vibradores de cabeza horizontal tipo L, los que serán operados en forma similar.

El tamaño y la distancia entre los vibradores deben ser determinadas principalmente por las características de la mezcla y por el espesor del pavimento. En general deben usarse distancias entre los vibradores, superiores a 75 cm. o el doble del espesor de la losa, lo que es menor. Los vibradores de cabeza se han usado con éxito para consolidar losas de más de 60 cm. de espesor hormigonadas de una vez. Es probable que con cuidadosa elección del tamaño, frecuencia y distancia de los vibradores puedan consolidarse losas de mayor espesor. Las cabezas vibratoras convencionales actuando verticalmente, pueden usarse para losas de hasta 30 cm.

Se pueden asegurar también resultados satisfactorios con el uso de tubos vibradores para pavimentación (Fig. 7). Cada unidad vibratora con-

siste en un motor y dos tubos horizontales de alrededor de 1,50 m. de longitud los cuales están perpendiculares al eje del pavimento. Los tubos van suspendidos bajo el motor de tal manera que puedan ser mantenidos cerca de la mitad de la altura de la losa sin sumergir el motor. Deben montarse el número suficiente de unidades en línea para cubrir el ancho total de la losa, con no más de 10 cm. entre tubos adyacentes y aproximadamente 5 cm. entre los extremos de los tubos y los moldes. Los vibradores de tubos adquiribles en la actualidad son adecuados para losas de espesor mayor de 45 cm. y aún losas más gruesas bajo condiciones favorables.

b) Vibración de pavimentos delgados.—Para pavimentos de 20 cm. o menos de espesor, la regla frontal de la máquina de terminación, cuando está adecuadamente ajustada, provee de un esfuerzo de compactación que puede ser suficiente para el interior de la losa si se usa una mezcla de hormigón bien proporcionada y de un slump de alrededor de 4 cm. Cuando se necesita una consolidación adicional deben usarse vibradores de superficie del

tipo regla vibradora (Fig. 8) o vibradores de inmersión montados en serie (Fig. 6). Deben usarse vibradores internos a lo largo de los moldes, de uso manual y unidos al esparcidor de hormigón. La vibración manual es también necesaria en las cercanías de las juntas de dilatación y en los terminales. Debe tenerse especial cuidado de evitar la sobrevibración que produce una capa de mortero con alto contenido de agua a lo largo de la junta o borde y contribuye a las pequeñas roturas y progresivo deterioro.

El esfuerzo de compactación entregado por la máquina de terminación, sin embargo, no es suficiente para asegurar un hormigón denso bajo todas las condiciones, especialmente para losas de 20 a 30 cm. de espesor o para slumps de 4 cm. o menos. En este caso es recomendable el uso de la regla vibradora o vibrador de superficie (Fig. 8) o vibradores de inmersión montados en serie (Fig. 6). Los elementos vibradores de estas reglas deben ser del tipo baja frecuencia y alta amplitud. Deben estar sincronizados y trabajar a una velocidad mínima de 3.500 rpm. y no deben estar en contacto ni ser soportados por los moldes. Será necesaria cierta cantidad de trabajo manual al emplear vibradores de inmersión en las cercanías de las juntas de dilatación y en los bordes del pavimento.

El vibrador no debe dejarse en acción demasiado tiempo en un lugar, a riesgo que se produzca segregación, especialmente cuando el slump es muy grande. Cuando los vibradores son solidarios a la máquina esparcidora o de terminación, la velocidad de esta máquina se convierte en un peligro potencial de exceso de vibración. Cuando la máquina se detiene, los vibradores deben hacerlo a su vez.

c) Pavimentos armados.—La vibración de losas armadas presenta problemas especiales. Es costumbre hormigonar los pavimentos armados en dos capas, con las armaduras colocadas sobre la primera capa. Generalmente la primera capa es más gruesa que la segunda, por lo que las armaduras quedan sobre el centro de la losa.

En las ocasiones que la capa inferior tiene el espesor suficiente para permitir su aplicación, debe usarse las técnicas de vibración interna anteriormente descritas. Algunas veces es posible emplear tubos vibradores o vibradores de cabeza tipo L en posición horizontal para consolidar la capa superior. Cuando la losa es demasiado delgada para permitir la vibración interna, debe usarse un vibrador de superficie en la capa superior.

d) Principios básicos para la adecuada vibración de pavimentos.—Hasta que no se disponga de estudios más extensos, no habrán reglas específicas sobre la frecuencia óptima, amplitud, y tiempo de vibración para losas de hormigón de varios espesores y con hormigones de diferentes componentes y proporciones de la mezcla. Se requiere el juicio de un experto, el que sabe cómo debe ser la superficie de un hormigón vibrado adecuadamente y que puede predecir con razonable exactitud el radio de influencia del vibrador bajo la superficie. Es esencial cierta flexibilidad del equipo.

En general, el comité recomienda que la frecuencia de trabajo no debe ser inferior a 7.000 rpm. para los vibradores de inmersión, 5.000 rpm. para los vibradores de tubo, o 3.500 rpm. para los vibradores de superficie. Debe preferirse el uso de vibradores de potencia media con separaciones relati-

vamente pequeñas, que vibradores pesados a grandes distancias. El objetivo es consolidar totalmente el hormigón y disponer del mortero suficiente para una terminación satisfactoria, sin producir una zona acuosa y deleznable en la superficie. Siempre debe disponerse en la obra de por lo menos de un vibrador adicional en buenas condiciones de trabajo.

206.—HORMIGONES DE BAJO CONTENIDO DE AGUA (DE CONSISTENCIA DE TIERRA HUMEDA)

En los Estados Unidos el uso de hormigones de baja humedad se ha limitado principalmente a la fabricación de productos tales como tubos y bloques. Ha tenido también un uso restringido en pisos que requieren alta resistencia y duración. Los informes de los países europeos señalan un uso más difundido de estos hormigones en pavimentos.

La manufactura de productos prefabricados se trata en otra sección de este informe. Respecto al uso en pavimentos y estructuras, el comité no puede hacer recomendaciones dado la poca difusión de esta práctica, especialmente en los Estados Unidos. Debe alentarse en todas las ocasiones que se pueda la investigación y experimentación de métodos y equipos para consolidar tales mezclas secas.

a) **Pisos.**—En este campo ha tenido cierto uso el hormigón de consistencia de tierra húmeda en pisos industriales que deben resistir la erosión, acción química, abrasión, impacto y pesadas cargas vivas. Obviamente es imposible usar un vibrador interno en esta labor, y debe recurrirse a métodos de consolidación de superficie. Tanto para una terminación monolítica o con uniones, debe usarse una re-

gla vibradora o un disco de consolidación y terminación. Esta última máquina (Fig. 9) consiste en un disco de terminación rotatorio con unidad impulsora. Martinetes montados en los costados de la máquina, corren por un sistema de levas dispuesto en el disco de terminación. Al girar el disco los martinets se levantan sucesivamente y caen sobre el disco. La fuerza resultante produce un movimiento vertical de pequeña magnitud y vibración del disco, de buen efecto para la consolidación y terminación de pisos de hormigón.

207.—HORMIGONES LIVIANOS

En general los principios y prácticas recomendadas para la consolidación de hormigones de peso normal son válidos para hormigón realizado con agregados livianos, a condición que se observen ciertas precauciones.

Existe siempre una tendencia de los elementos livianos del agregado de subir a la superficie del hormigón fresco, especialmente por efecto de la sobrevibración. Una mezcla bastante espesa, vibrada al mínimo necesario para evitar la formación de huecos, es el mejor seguro contra la segregación indeseable. La aparición de partículas de agregado liviano en la superficie, causada por la vibración excesiva de una mezcla húmeda, hace muy difícil si no imposible la terminación de la superficie.

208.—HORMIGONES PESADOS (DE ALTA DENSIDAD)

Deben tomarse ciertas medidas y precauciones en la colocación y consolidación de hormigones pesados para

asegurar un hormigón de densidad uniforme y libre de segregación.

Durante la colocación y segregación hay tendencia en el agregado pesado a asentarse en el hormigón fresco, especialmente si el hormigón es demasiado húmedo, lo que conduce a una vibración excesiva. Cuando las diferentes partes del agregado en la mezcla, tienen aproximadamente el mismo peso específico, puede controlarse satisfactoriamente la segregación durante la colocación y consolidación. Sin embargo, los despuntes de acero que tienen un peso específico de 7,8 tendrán tendencia a precipitarse al fondo, aún en mezclas de agregado pesado ordinario de peso específico 3,5 a 4,7. Prevenir la segregación de los despuntes de acero en este caso es difícil si no imposible, y deben emplearse métodos especiales para colocar y consolidar hormigones que contienen trozos de acero. Se recomienda que tales hormigones sean colocados por los métodos de pudelamiento (puddling) o precompactado (prepacked).

El método de pudelamiento es adecuado para formas abiertas libres de otros elementos fijos concurrentes y consiste en colocar algunas pulgadas de mortero en el moldaje y cubrirlo con una capa de agregado grueso pesado. El agregado grueso es mezclado con el mortero mediante varillamiento o vibración interna.

El método de precompactado para colocación del hormigón pesado elimina la segregación del agregado grueso y permite un control muy exacto de la consolidación y la densidad. Además el método de precompactación evita las dificultades que tiene la colocación del hormigón mezclado en forma convencional alrededor de elementos empotrados y en áreas restringidas. En este método el agregado

grueso se compacta en los moldes y los huecos se llenan con un mortero especial que contiene arena pesada, bombeado a través de tubos de mortero incluidos en el agregado, o por aberturas en los moldes.

En los casos que hay muchos elementos incluidos, tales como armaduras recargadas, tubos y conductos, es deseable vibrar estos elementos durante la colocación del agregado para evitar los espacios sin llenar. Dicha vibración reducirá también substancialmente la cantidad de huecos del agregado colocado. La vibración del agregado es innecesaria, sin embargo, durante el bombeo de mortero en los huecos del agregado precompactado. Donde se desee conseguir una superficie de terminación suave, debe vibrarse el moldaje durante la inyección de mortero.

En resumen, en los hormigones que contienen agregado pesado de densidad uniforme, puede realizarse la consolidación con los métodos convencionales siempre que la mezcla tenga una buena trabajabilidad y el moldaje esté relativamente libre de elementos incluidos. Si el hormigón contiene mezclas de agregados de diferentes densidades, o debe ser colocado en moldajes complejos y alrededor de elementos incluidos con pequeñas separaciones, será necesario emplear métodos especiales de colocación tales como el método de precompactación.

209.—BLOQUES DE HORMIGON Y PRODUCTOS PREFABRICADOS

A causa del considerable número de métodos que se usan satisfactoriamente para producir gran variedad de productos, al comité le es imposible hacer recomendaciones, por lo que se

limita a informar sobre las prácticas más usadas que aparecen como convenientes. En la manufactura de algunos productos de hormigón prefabricados se usan mayormente los vibradores de moldaje, aunque también se emplean vibradores internos y de superficie.

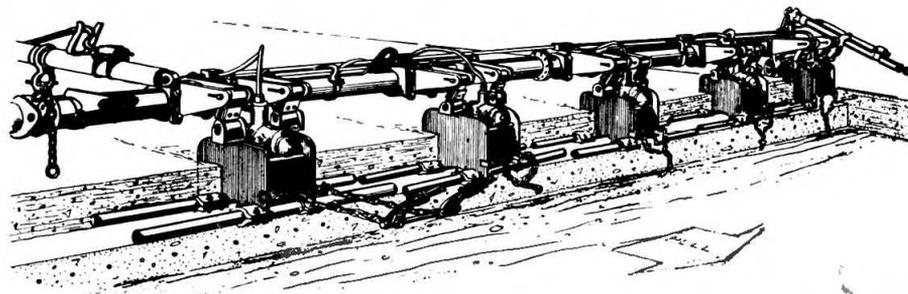
Además de la vibración, varios métodos de apisonamiento, prensado, percusión, laminación y rotación también proveen de medios para conseguir la compactación deseada y la colocación satisfactoria. Estos diversos métodos se usan en la manufactura de una gran variedad de productos prefabricados de hormigón, tales como bloques, ladrillos, losas, canales, soleras, losas de pavimento, tejas, baldosas para piso y muros, postes, tubos para regadío, tubos para trabajo a presión, tubos de alcantarillado y vigas.

a) **Bloques de hormigón.**—Las máquinas para bloques de hormigón varían actualmente en complejidad y capacidad de producción desde la máquina bloquera individual que requiere un esfuerzo manual considerable hasta las máquinas superautomáticas en que la técnica consiste únicamente en apretar correctamente a los boto-

nes. En algunas máquinas de bloques individuales se usa solamente la vibración, pero en la mayoría de las máquinas de más tamaño, se emplea vibración y presión. El apisonamiento, que fue importante en este campo, ha desaparecido casi totalmente.

Las máquinas bloqueras trabajan con frecuencia que varían entre 1.800 y 7.200 rpm. En las frecuencias bajas se usan normalmente amplitudes de alrededor de 1,6 a 3,2 mm. mientras que en las frecuencias altas las amplitudes son generalmente menores de 1,25 mm. Muchas máquinas para bloques operan entre 4 y 6 ciclos por minutos. En una máquina dada cualquiera, el control del producto resultante se realiza principalmente mediante cambios en las proporciones de la mezcla de hormigón, amplitud de la vibración y la duración del período de vibración.

b) **Productos prefabricados de hormigón.**—En la manufactura de los múltiples productos realizados por la industria de los prefabricados de hormigón, se puede encontrar la mayor variedad de formas de colocación del hormigón. El hormigón de consistencia plástica puede ser varillado a mano o



Tubos vibradores para consolidar hormigón de carreteras y aeropuertos. Los tubos se muestran en una vista en corte de hormigón.

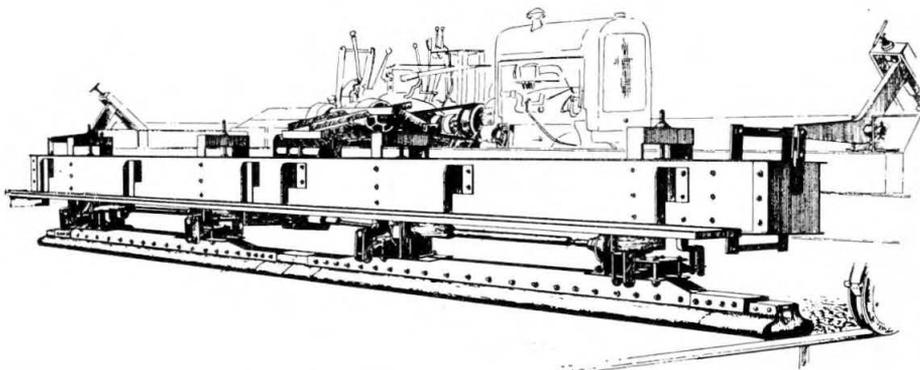
vibrado internamente. El hormigón de mayor consistencia debe ser colocado mediante apisonamiento manual, máquinas de apisonamiento, vibradores de moldaje, prensado hidráulico, laminación mecánica o percusión.

Los sistemas de vibración son evidentemente muy variados y generalmente son resueltos por cada fabricante de acuerdo al equipo que puede utilizar y las necesidades del producto en elaboración. Algunos fabricantes prefieren la vibración de baja amplitud-alta frecuencia, y otros la vibración de alta amplitud-baja frecuencia. Sin embargo, la vibración de alta frecuencia-baja amplitud parece encontrar más preferencias.

En el sistema de percusión para la colocación del hormigón, la mesa o molde es alzada mediante levas de uno o más ejes giratorios y dejada caer sobre los soportes. Este método puede considerarse como una vibración de amplitud muy alta y frecuencia muy baja. El molde o mesa debe dejarse caer a una altura de 12,5 mm. a una velocidad de 100 a 200 veces por minuto.

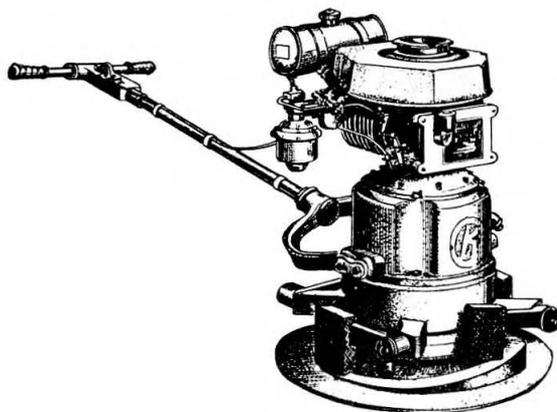
La unidad de vibración usada comúnmente, consiste en un perfil "U" apernado a la cara inferior de la mesa, que soporta mediante descansos de rodamientos de bolitas de auto-alineación a un eje de acero accionado por polea en el cual se fijan pesas descompensadas. La amplitud de este movimiento puede ser variada regulando las pesas descompensadas, y la cantidad requerida para una aplicación determinada depende de la frecuencia de la vibración y las sollicitaciones del trabajo. Las frecuencias más usadas varían entre 1.500 y 1.800 vibraciones por minuto, mientras que la amplitud es generalmente menor que 3 mm. El período de vibración es comúnmente entre 10 y 20 segundos.

c) **Tubos de hormigón.**—Los tubos de hormigón se fabrican por varios métodos, que incluyen apisonamiento automático, compresión por medio de un cabezal giratorio, vibración, centrifugación con vibración y compactación. Las piezas para riego y drenaje y tubos para aguas servidas y alcantarillas se fabrican comúnmente mediante apisonamiento o compresión de



Regla vibradora para consolidar hormigón de pavimentos.

Máquina vibradora de disco rotatorio, para consolidar la superficie de pisos.



un cabezal giratorio a menos que tenga un diámetro mayor de 1,80 m. Los tubos de gran tamaño se fabrican generalmente con procesos de vibración. El tubo para agua a alta presión se fabrica con vibración o centrifugación. El peso específico del hormigón hecho con agregados de arena y grava alcanza a 2.650 Kg/m³.

En la fabricación de tubos por apisonamiento, se usa una mezcla de hormigón de bajo contenido de agua. El hormigón se distribuye en el espacio anular comprendido entre el cuerpo central fijo y el moldaje exterior rotativo, y es compactado mediante golpes de pisones de madera dura acondicionados con regatones de metal los cuales golpean a razón de 500 a 600 veces por minuto. A medida que la pared del tubo se va construyendo, los pisones suben. Además de la compactación ejecutada por los pisones se realiza una acción de platachado simultánea con la colocación de hormigón alrededor del cuerpo central fijo.

El proceso de cabezal giratorio (packerhead) utiliza también una mezcla de hormigón con poca humedad. El cabezal giratorio parte desde el fondo del molde vertical que da la superficie exterior del tubo terminado mientras gira el cabezal a alta velocidad, compacta el hormigón contra el moldaje exterior y dado que también asciende al girar, se obtiene la longitud necesaria del tubo. El diámetro interior del tubo terminado es igual al diámetro exterior del cabezal. El trabajo de platachado del cabezal produce una terminación interior lisa.

En la fabricación de tubos centrifugados, el contenido de agua del hormigón depende de los materiales, equipo, experiencia y preferencias de

cada fabricante. En este método de fabricación de tubos, el hormigón se coloca generalmente en el molde horizontal mientras este gira a baja velocidad, y entonces la velocidad se aumenta a un valor suficientemente elevado para que la fuerza centrífuga compacte el hormigón y expela el exceso de agua. La óptima velocidad de giro para obtener el hormigón más denso, al parecer debe encontrarse con ensayos. Los valores variarán desde una velocidad periférica de 2,8 m/seg. para tubos de 0,15 m. hasta 15,2 m/seg. para tubos de 1,5 m.

El hormigón para tubos vibrados debe considerarse en muchos sentidos como un hormigón de estructuras. La principal diferencia entre los procedimientos usuales en estructuras y la fabricación de tubos vibrados es el uso de vibradores externos para el tubo, antes que vibradores internos, dada la dificultad de introducir un vibrador interno en un molde largo y angosto que contiene armaduras de refuerzo.

El hormigón usado en la fabricación de tubos de hormigón vibrado debe tener un "slump" entre 5 y 7,5 cm. En este método los moldes se vibran continuamente mientras se coloca el hormigón. Generalmente se usan vibradores de moldaje accionados por aire o eléctricos, los que deben ser fijados rígidamente al molde exterior ligeramente más bajos de la mitad de la altura, o elevados en tanto avanza el vaciado. Si sólo se usan dos vibradores, deben ser fijados en lados diametralmente opuestos del molde, y deben conectarse con una cadena que rodee el perímetro del molde para ayudar en la transmisión de la vibración. Aunque en la mayoría de los casos los vibradores se co-

locan en el molde exterior, también pueden colocarse en el molde interior. En la vibración a alta frecuencia son necesarios moldajes fuertes, juntas estancas y amarra positiva de los moldes a la superficie soportante. En tubos de gran tamaño con fuertes secciones de pared, debe emplearse la vibración interna.

En los moldajes para tubos de hormigón, los vibradores de molde deben funcionar al menos a 8000 rpm. También es importante si se necesita que las burbujas de aire tengan tiempo para ascender y escapar que el hormigón se coloque en capas menores de 60 cm. y que entre tanto se provea de vibración por 1 ó 2 minutos. Aunque esto proporcionará ordinariamente más vibración que la necesaria, cuando se usa hormigón de slump 5 cm., cualquiera tendencia a la sobrevibración es reducida por la mezcla con la capa posterior. Sin embargo, para evitar el debilitamiento del extremo superior del vaciado, generalmente espigas de tubos, que

puede ser originado por la sobrevibración, debe detenerse la vibración de la última capa anular de hormigón tan pronto como el hormigón recién colocado se nivela y es consolidado.

Otro método usado en la fabricación de tubos de hormigón es aquél en que se compacta el hormigón simultáneamente mediante fuerza centrífuga, vibración de alta frecuencia, y un rodillo de acero. El hormigón de slump cero usado en este proceso es colocado en los moldes en forma continua en capas mientras el molde gira a una velocidad periférica de 2,55 m/seg. para tubos de 0,75 m. y 0,5 m/seg. para tubos de 0,45 m., con cuatro llantas neumáticas que ruedan en los extremos del molde. El rodillo de acero que gira a lo largo del interior del tubo es accionado por un ariete hidráulico en cada extremo del muro y entrega una presión máxima de compactación de 7.250 kg. También se emplean variantes de estos métodos.