



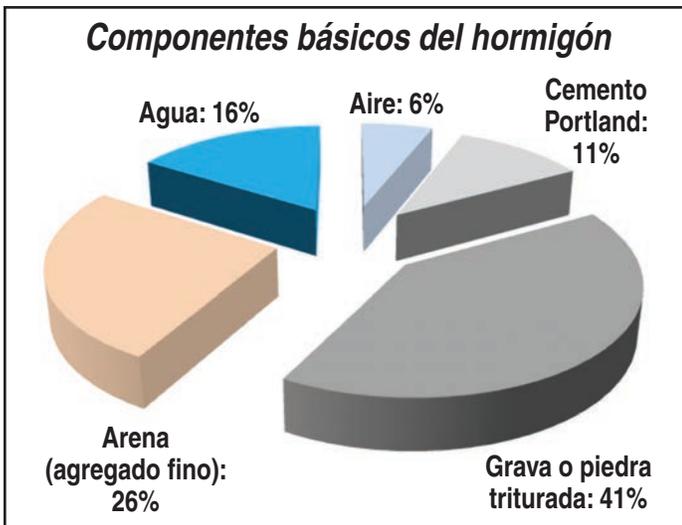
# Teoría de consolidación del hormigón



## Hormigón: un material confiable

El hormigón es uno de los materiales de construcción más confiables del mundo, cuya lista de aplicaciones arquitectónicas y estructurales es interminable.

### ¿Qué es el hormigón?



*Este es solo uno de los posibles diseños. Pueden emplearse otros aditivos además de estos componentes básicos.*

### Aditivos



Con frecuencia se utilizan aditivos y otras mezclas para cumplir requisitos ambientales y de ingeniería, como:

- **Cenizas volantes\***
- **Acelerantes**
- **Retardantes**
- **Acabados en seco y endurecedores en aerosol**

\*Las cenizas volantes son un subproducto de las centrales eléctricas a carbón. Mejoran el rendimiento y la calidad del hormigón. Afectan las propiedades plásticas del hormigón: lo hacen más trabajable además de reducir la demanda de agua, la segregación y exudación y el calor de hidratación. Aumentan la

resistencia, reducen la permeabilidad, reducen la corrosión del acero de refuerzo, aumentan la resistencia a los sulfatos y reducen la reacción álcali-agregado. Alcanzan su máxima resistencia más lento que el hormigón hecho solo con cemento Portland. Las técnicas de trabajo con este tipo de hormigón son estándar en la industria.

### Descripción de la hidratación del hormigón



Cuando se mezcla cemento con agua, se produce una reacción conocida como *hidratación*.

Convierte la suspensión de agua, cemento y agregado en material poroso rígido.

El punto nominal de hidratación al cual se produce esta conversión es el *punto de fraguado*.

La masa de agua y cemento de una mezcla determinada se especifica según la relación agua-cemento (a/c).

- El hormigón común utilizado en edificios contiene pasta de cemento cuya relación a/c es de 0,5.
- Los cementos más nuevos de alto rendimiento con frecuencia tienen relaciones a/c de 0,3 o menos.

Durante el curado, el agua se “consume” mediante la evaporación y la reacción química. Si la evaporación no se controla, el hormigón queda defectuoso.

### ¿Qué ocurre cuando el hormigón reacciona con el agua?

Las diversas fases químicas y minerales dentro del cemento en polvo se hidratan a diferente velocidad, según su tamaño y composición. Interactúan para formar diversos productos. Algunos

productos se depositan en las superficies de partículas de cemento restantes (productos superficiales) y otros forman cristales en el espacio poroso lleno de agua entre las partículas de cemento (productos porosos).

Para simplificar, puede considerarse que la pasta de cemento tiene las siguientes fases:

- 1) **Cemento no reactado**
- 2) **Silicato cálcico hidratado (C-S-H)**
- 3) **Productos porosos** (como CH = hidróxido de calcio)
- 4) **Espacio poroso capilar**

El silicato cálcico hidratado (o C-S-H) es el producto principal de la hidratación de cemento Portland y el principal responsable de la resistencia de los materiales a base de cemento.

## Descripción de la transmisión de vapor de agua

- Los poros capilares microscópicos se llenan de agua a medida que se vierte y coloca hormigón.
- A medida que el hormigón se endurece, la hidratación consume parte de esta agua y la humedad superficial se evapora naturalmente con el sol y el viento.
- Después de que los capilares se secan, el vapor de agua sigue difundándose desde el suelo por el piso de hormigón, que funciona como una “esponja” abierta de vapor.
- Instalar una **barrera contra el vapor** impide la difusión de humedad del suelo inferior a través del hormigón.
- Comúnmente se utiliza revestimiento plástico como barrera impermeable contra el vapor para impedir que la humedad del suelo se distribuya por el hormigón.

## Control de evaporación en el hormigón

*Los suelos de hormigón tienen una apariencia seca, dura e impermeable. En realidad, se asemejan más a una esponja dura y compacta.*

- **La transmisión de vapor de agua** se produce cuando el agua sube por los poros del suelo mediante la acción capilar.
- La humedad del hormigón y la subbase sube en forma de vapor a través de un proceso llamado **difusión**.
- El exceso de evaporación genera fisuras superficiales.



## Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción permite calcular la carga bajo la cual se producirán fisuras. Esto se debe a su influencia en la formación de fisuras y su propagación al lado de tracción del elemento en flexión de hormigón armado. Dicha resistencia es de interés en el diseño de losas en aeropuertos y carreteras, ya que la resistencia al corte y las fisuras es fundamental.

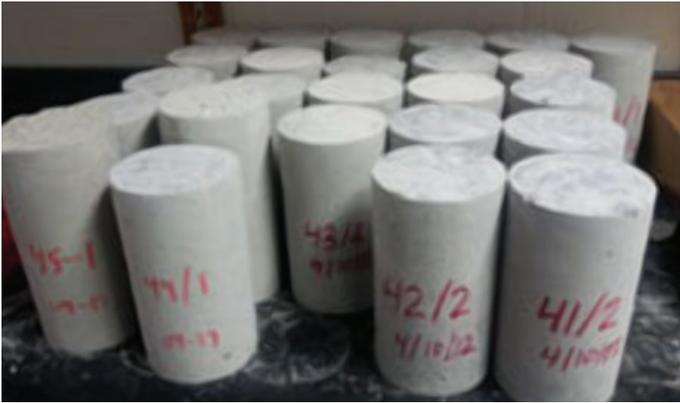
La resistencia a la tracción del hormigón es relativamente baja, aproximadamente del 10 al 15% de la resistencia a la compresión y puede alcanzar el 20%. ASTM C1583 es la prueba establecida más común. Se extraen muestras de núcleo y se comprueban en laboratorios calificados con equipos calibrados, como se muestra aquí. Muchos factores influyen en la resistencia a la tracción del hormigón, de modo que los laboratorios reciben el diseño de mezcla específico y se efectúan pruebas para confirmar que se logre la resistencia prevista.

## Resistencia a la compresión

La principal medición de calidad estructural del hormigón es la resistencia a la compresión. Según la mezcla (especialmente la relación agua-cemento), el tiempo y la calidad del curado, puede obtenerse una resistencia de hasta 14.000 psi o más. La producción comercial de hormigón con agregado común generalmente alcanza de 3.000 a 12.000 psi y en edificios de moldeo in situ comúnmente varía de 3.000 a 6.000 psi. Por otro lado, en aplicaciones prefabricadas y pretensadas con frecuencia se anticipa una resistencia de 4.000 a 8.000 psi.



Las pruebas de esta propiedad se realizan en especímenes cilíndricos cuya altura equivale al doble del diámetro, generalmente



de 6 x 12 pulg. Se llenan moldes impermeables de esta forma con hormigón durante la colocación según las especificaciones de ASTM C172, “Práctica normalizada para muestreo de concreto recién mezclado” y ASTM C31, “Práctica normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra”. Los cilindros se curan en húmedo a aproximadamente 70 grados F, por lo general durante 28 días, y luego se prueban en laboratorio al nivel de carga especificado. La resistencia a la compresión obtenida se conoce como resistencia cilíndrica, término utilizado para el diseño.

## Resistencia a la abrasión

Existe una serie de factores que influyen notablemente en la resistencia a la abrasión del hormigón, como la resistencia del hormigón, las propiedades del agregado, el acabado y el tipo de endurecedores. El acabado con escoba ofrece mayor resistencia al patinaje, pero presentará desgaste mucho más rápido que el acabado con allanadora de acero.

Según un gran número de estudios, la resistencia a la abrasión depende principalmente de la resistencia a la compresión del hormigón. El desgaste superficial de un suelo de hormigón industrial puede afectar gravemente la eficiencia de la construcción. Una superficie irregular dificultará el desempeño de los materiales para transporte de vehículos e incluso puede aumentar el desgaste de dichos vehículos. La resistencia a la abrasión se comprueba mediante la prueba C779 desarrollada por ASTM.

## Vibración

Uno de los pasos más importantes para verter hormigón es la consolidación o vibración del hormigón. La consolidación es una de las operaciones más importantes en la obra que permiten que el hormigón fresco alcance su resistencia, densidad y baja permeabilidad potencial. Debe aplicarse vibración al hormigón durante la colocación de modo que:

- Se forme una masa monolítica entre los extremos del elemento, las juntas planificadas o ambos;
- El encofrado se llene completamente hasta el nivel deseado;
- Se expulse el aire atrapado;
- Todos los refuerzos, cables, conductos, anclajes y empotramientos queden completamente rodeados;
- Se produzca el acabado especificado de las superficies moldeadas del elemento;
- Se logren las propiedades requeridas del hormigón.

Además de expulsar el aire, promueve una distribución más uniforme de los poros dentro del hormigón, provocando que se vuelvan discontinuos. De esta manera la durabilidad del hormigón aumenta, excepto, tal vez, en condiciones de congelación y descongelación en las cuales el exceso de vibración puede expulsar aire incorporado intencionalmente, diseñado para aumentar la resistencia a la congelación-descongelación del hormigón endurecido.

La resistencia a la abrasión de las superficies de hormigón normalmente mejora gracias a la vibración adecuada. Sin embargo, el exceso de vibración o trabajo de la superficie puede causar exceso de mortero (y humedad) en la superficie, lo cual reduce la resistencia a la abrasión potencial.

La falta de consolidación puede generar vacíos, bolsas de agregado, paneles alveolares y adhesión deficiente con las barras. En casos extremos la consolidación incorrecta puede afectar la integridad estructural de los muros o las columnas. Por otro lado, la vibración excesiva puede crear muros con comba y desprendimientos.

## Términos de vibración del hormigón

Los siguientes términos se utilizan durante el proceso de vibración:

**Fuerza centrífuga:** medición de la capacidad de mover la mezcla según la velocidad de rotación y el tamaño del rotor excéntrico. Mientras mayor sea la fuerza, más pesada será la mezcla que puede mover.

**Amplitud:** medición de la máxima distancia que se moverá el cabezal vibrador desde su eje estático; importante para mezcla de agregado grande.

**Frecuencia:** se mide en vibraciones por minuto o VPM; es la velocidad de movimiento del cabezal vibrador dentro de los límites de su amplitud. Los vibradores con altas VPM (hasta

12.000) afectarán principalmente las partículas finas. Esto es ideal, porque la mayoría del aire atrapado se produce alrededor de aquellas partículas. Las VPM altas permiten que la pasta de cemento cubra las partículas finas después de eliminar el aire, lo cual ayuda a unificar la masa. La frecuencia licua o mueve la mezcla de hormigón. Mientras más sean las VPM, mayor será la capacidad de licuar mezclas endurecidas.

## Asentamiento del hormigón

Según las especificaciones de la estructura, el hormigón para pisos, muros, columnas, etc. puede requerir una consistencia específica. En la mayoría de los trabajos, se hacen pruebas de muestras de hormigón vertido tomadas del camión hormigonera para determinar si la mezcla corresponde a las especificaciones. Una de esas pruebas es la de asentamiento. Se toman varias muestras de la misma mezcla a intervalos regulares durante el vertido. El hormigón se coloca en forma de cono y apisona para asentar el contenido (consulte la prueba de asentamiento a continuación). Se quita el cono y se coloca junto al hormigón en forma de cono. Se coloca una regla a lo largo del cono que se extiende sobre el hormigón al lado y se mide el asentamiento aproximadamente 1 minuto y medio después. El asentamiento equivale a la distancia que baja el hormigón después de dicho tiempo.

Mientras más baje, mayor es el asentamiento y más húmeda es la mezcla. Una mezcla con bajo asentamiento (0-2") se considera "endurecida". Dichas mezclas son las que requieren más refuerzo durante la consolidación. El asentamiento de 2" a 4" se considera bajo/medio; de 4" a 6" la mezcla es blanda o húmeda (probablemente la más utilizada); sobre 6" se considera una mezcla fluida. Estas designaciones son aproximadas, comúnmente aceptadas como regla general y necesarias para seleccionar el vibrador correcto para la aplicación.

## Vibradores de hormigón

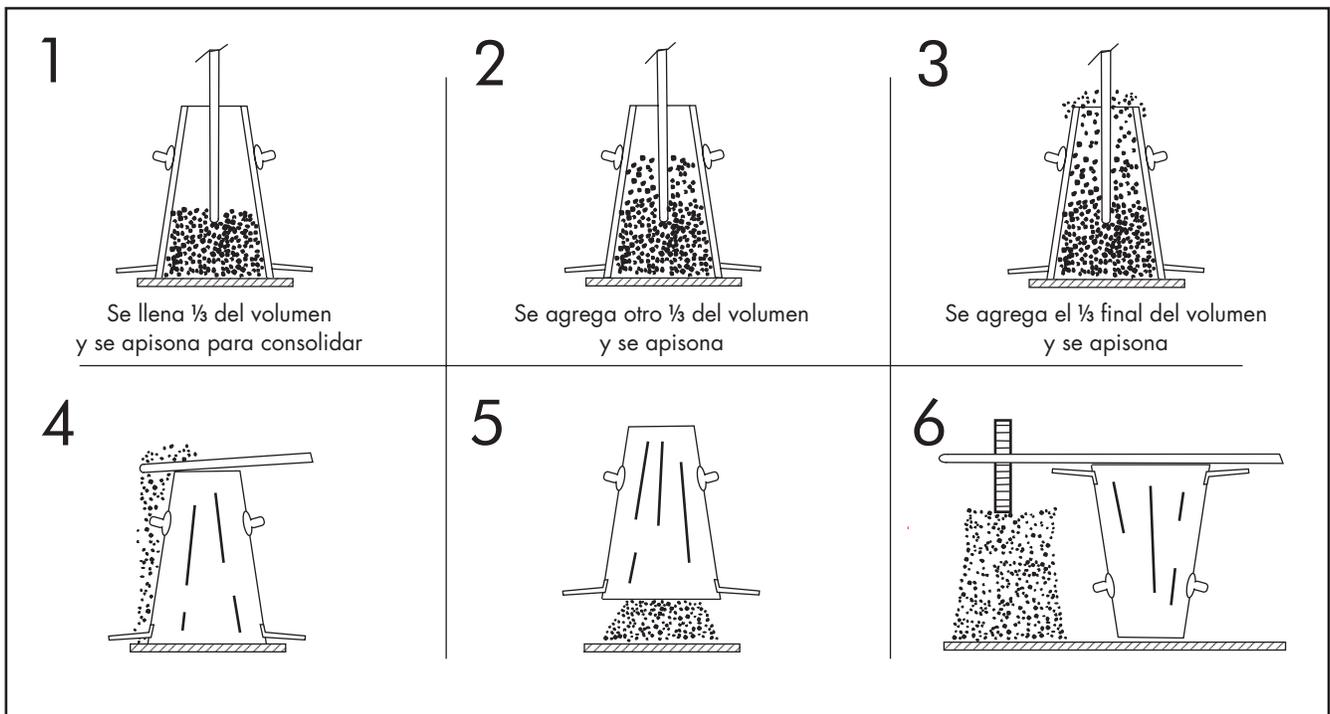
Estos vibradores se dividen en dos categorías principales: *externos* e *internos*.

**Los vibradores externos** se adhieren directamente al encofrado y hacen vibrar el hormigón a través del mismo.

**Los vibradores internos** emplean un cabezal emplazado directamente en la mezcla de hormigón. Corresponden a dos categorías principales: de eje flexible y alta frecuencia.

**Los vibradores de eje flexible** consisten en un motor universal conectado a una carcasa con un eje flexible, un núcleo alámbrico y un cabezal en el otro extremo del eje. El motor gira el eje, que a su vez gira el cabezal. Tienen aplicaciones específicas, como

## PRUEBA DE ASENTAMIENTO





**Vibrador de eje flexible**

vertido en bajas cantidades que requiere vibración mínima (como losas delgadas, muros angostos, bases y cimientos pequeños). En estos casos suele bastar con un vibrador de eje flexible. Pueden utilizarse en vertidos con gran concentración de barras, ya que los cabezales de diámetro reducido (7/8" a 2") pueden evitar las obstrucciones.

En esta situación no puede utilizarse hormigón rígido; el eje flexible se aplica comúnmente a asentamientos de 3" o más.



**Vibrador de alta frecuencia**

**Los vibradores de alta frecuencia** se llaman así debido a la demanda eléctrica de 180 Hz (ciclos por segundo), lo cual indica que la corriente alterna cambia de dirección 180 veces por segundo. (No debe confundirse con la clasificación de vpm de los vibradores, también conocida como "alta frecuencia"). Esto permite el uso de un motor de inducción y suministrar abundante potencia en un paquete más pequeño que los motores universales. Gracias al paquete pequeño, el rotor excéntrico puede acoplarse directamente al motor blindado en el cabezal, lo cual elimina la necesidad de un eje flexible. (La larga manguera de manipulación entre el motor/cabezal y la fuente de alimentación solo contiene cables eléctricos). Esto permite utilizar el vibrador de alta frecuencia en asentamientos de 1" a 3", especialmente en situaciones de producción.

## ¿Por qué vibradores de alta frecuencia?

Debido a la naturaleza del motor universal, los motores de los vibradores de eje flexible pierden potencia continuamente a medida que la carga aumenta. Mientras mayor sea la carga (por ejemplo en hormigón con bajo asentamiento) más potencia se perderá. La principal ventaja consiste en que el motor de inducción de 180 ciclos de los vibradores de alta frecuencia solo pierde aproximadamente el 5% de sus VPM bajo carga. Además, el eje flexible crea pérdida de fricción con cada pliegue, lo cual reduce aún más las VPM efectivas en el cabezal. La diferencia está en el rendimiento con asentamiento bajo a medio. Un vibrador de alta frecuencia funciona aproximadamente a 10.800 VPM incluso en asentamiento bajo (el hormigón se mueve mejor de 10.000 a 11.500 VPM). En una mezcla endurecida, el eje flexible operará aproximadamente a 9.000 VPM o menos, lo que causará que el operador deje el vibrador en el hormigón más tiempo. Además, el vibrador de alta frecuencia crea mayor fuerza centrífuga y tiene un cabezal más largo, de modo que somete una proporción mayor de la mezcla a la vibración. Estos factores permiten que el operador aplique vibración a más yardas cúbicas de mezcla.

Entre las aplicaciones de los vibradores de alta frecuencia se incluye cualquier trabajo que requiera asentamiento bajo a medio, como presas, muros de contención grandes, losas en edificios de altura y estacionamientos, muros levantados y otros tipos de construcción estándar.

## Controlador inteligente del vibrador de alta frecuencia

El exclusivo vibrador de hormigón de alta frecuencia controlado por computadora de Multiquip es un gran avance tecnológico que permite a los contratistas maximizar la productividad. El controlador inteligente ofrece el rendimiento de un vibrador de alta frecuencia además de muchas características exclusivas.

## ¿Por qué vibradores de alta frecuencia inteligentes?

Una de las ventajas del controlador inteligente es que emplea corriente estándar de 60 Hz en lugar de los generadores especiales de 180 Hz necesarios para alimentar vibradores de alta frecuencia. El controlador convierte automáticamente los 120 voltios y 60 Hz en los 140 voltios y 400 Hz que requiere el motor.

La microcomputadora en su interior es el "cerebro" del controlador inteligente que monitorea el rendimiento del vibrador sumergido en hormigón. Esto permite alcanzar un nivel de eficiencia inigualable

y consolidación superior del hormigón, independientemente de las condiciones de asentamiento. Por ejemplo, un vibrador convencional en una mezcla endurecida experimentará una caída de frecuencia y RPM. Esta pérdida es detectada por el controlador inteligente, que da una señal al motor para aumentar la velocidad y compensar la pérdida. Gracias a su capacidad de mantener una frecuencia de hasta 12.000 vpm es ideal para condiciones de cero asentamiento.

El controlador además protege contra problemas comunes como sobrecalentamiento, extinción del motor y fluctuaciones de corriente. Los sensores incorporados monitorean constantemente el sistema y apagan el motor a la primera señal de un problema.

El controlador inteligente también cuenta con modo económico sin carga con re arranque instantáneo bajo carga, conexión automática inteligente entre cuatro tamaños de cabezal, indicadores de fallas LED para facilitar la resolución de problemas y resistente caja de control con sistema electrónico sellado (clasificación de impermeabilidad IP67).

## Vibradores externos

Los vibradores externos se adhieren directamente al encofrado de muro y consolidan sin entrar en contacto con el hormigón (por eso son “externos”). Se prefiere vibración externa en situaciones en las que las columnas o concentraciones elevadas de barras pueden obstruir un cabezal interno. Los vibradores externos son útiles para producción de prefabricados porque pueden colocarse permanentemente, lo cual ahorra mano de obra.

## Venta de vibradores de alta frecuencia

Cuando la tecnología de vibradores de hormigón de alta frecuencia fue accesible inicialmente, los nuevos vibradores requerían generadores diseñados específicamente para este fin (240 voltios, trifásicos, 180 Hz) con alimentación auxiliar de 115 V CC. Estos generadores especializados de alta frecuencia eran grandes, pesados y costosos; su uso se limitaba estrictamente a aplicaciones de alta frecuencia.



**Controlador inteligente del vibrador de alta frecuencia**

En el pasado, las ventas de este tipo de vibradores eran mínimas debido a los restrictivos requisitos de alimentación. No obstante, los contratistas los preferían por las siguientes razones:

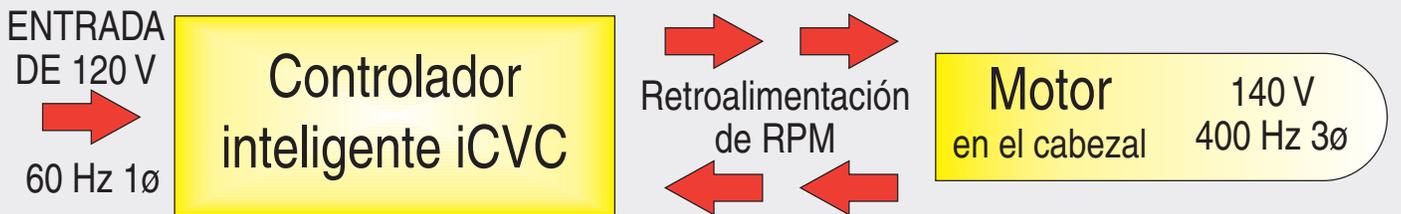
- **Menos mantenimiento que las unidades de eje flexible.**
- **Fuerza centrífuga (y área de compactación) mayor y más constante** que los vibradores de eje flexible.
- **Eliminan los problemas** de caída de un motor a la mezcla de hormigón o ingreso de mezcla al motor.
- **Pérdida de RPM nominal** bajo carga.
- **Mayor productividad** que los vibradores de eje flexible.
- **Mayor capacidad de adaptación a mezclas endurecidas y elevada producción.**

La introducción de la serie GDP de generadores de 60/180 ciclos de Multiquip permite al contratista utilizar una sola máquina en



**Generador de 60/180 ciclos GDP5HA**

## Conversión de 120 voltios/60 Hz a 140 voltios/400 Hz de salida



aplicaciones generales de 60 Hz y para alta frecuencia (180 Hz). Estos generadores de 60/180 ciclos son únicos gracias a su bajo peso y costo y mayor oferta de características estándar —a menor precio de lista— en comparación con otras marcas.

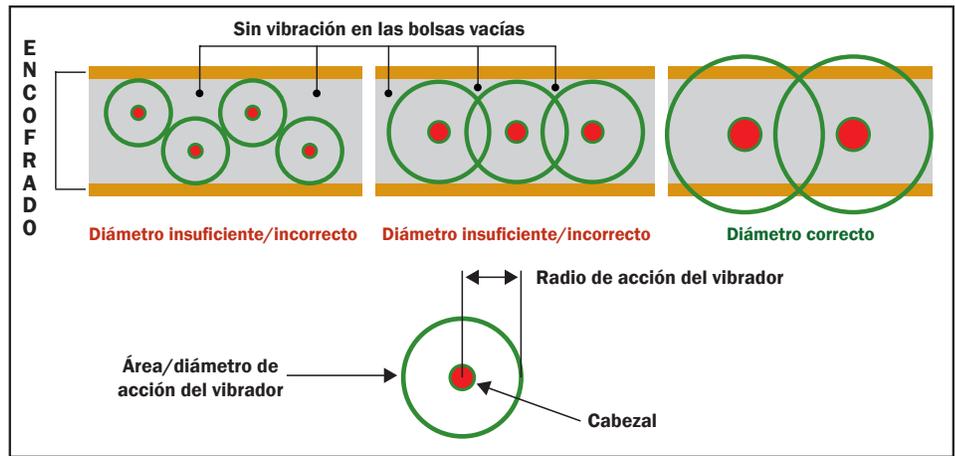
Los vibradores de alta frecuencia de Multiquip son ideales para empresas de alquiler, ya que se adaptan a una gran variedad de aplicaciones de vibración de hormigón y pueden funcionar con el mismo generador que las herramientas de CA estándar. Además están fabricados con grandes cojinetes de servicio pesado con lubricación permanente para maximizar el rendimiento, la durabilidad y la vida útil.

Los sistemas de controlador inteligente para vibradores de alta frecuencia están diseñados para trabajo continuo con concreto con bajo o cero asentamiento. Dicho sistema ofrece al operador todas las ventajas de esta clase de vibradores más rendimiento adicional y la capacidad de emplear una fuente de alimentación de 120 voltios y 60 Hz.

Al momento de vender vibradores de hormigón, es posible eliminar la posibilidad de entregar equipamiento excesivo o insuficiente al cliente gracias a la información señalada para determinar las aplicaciones específicas. Entre los datos necesarios se incluyen las dimensiones del encofrado, el material, el asentamiento, la concentración de barras, el número de vertidos necesario y la fuente de alimentación disponible en la obra.

## Procedimientos de vibración

- **Antes de utilizar un vibrador**, verifique la operación correcta y las VPM con un tacómetro manual sencillo (con cable).
- **Es recomendable** contar siempre con un vibrador de reserva en la obra.
- **El hormigón de muros y columnas** se coloca en elevaciones de profundidad variable, generalmente de 12" a 24". Aplique vibración a la primera elevación con el cabezal hasta el fondo del encofrado mientras el impulso de la vibración se extiende lateralmente desde el cabezal, no bajo la punta del cabezal. El vibrador siempre debe utilizarse verticalmente.
- **Primero coloque el vibrador en los niveles más altos de hormigón** y cuando se obtenga una superficie relativamente regular, insértelo a intervalos regulares (1½ veces el radio de influencia) para consolidar.



- **Observe la vibración** en la superficie para calcular el radio y colóquelo como corresponda para crear un solape; es mejor excederse con el solape en lugar de que sea insuficiente.
- **Aplique vibración con el cabezal completamente sumergido** en el hormigón, manteniendo la separación y el tiempo de vibración constante.
- **Mantenga el vibrador fijo de 5 a 15 segundos**, según la mezcla y la fuerza del vibrador. Menos tiempo no permite la consolidación correcta ni la expulsión del aire atrapado; demasiado tiempo causa segregación, vetas de arena o pérdida de aire incorporado. La superficie debe cubrirse con pasta (mortero) delgada y ya no deben subir burbujas de aire a la superficie.
- **Retire el vibrador lentamente de la mezcla** de modo que el hormigón llene el espacio detrás del cabezal. Para colocar la siguiente elevación, inserte el vibrador al menos 6" en la elevación anterior para unir las capas; esto permite eliminar las juntas frías.
- **Nunca utilice vibradores para esparcir hormigón** y manténgase siempre a 2" de las superficies de encofrado y las losas del fondo.

*La separación correcta entre inserciones del cabezal es 1½ veces el radio de acción del vibrador.*



Su distribuidor de Multiquip es:

Comuníquese con nosotros en



Todas las características y especificaciones son susceptibles de cambiar sin previo aviso.  
Versión (0220)



WWW.MULTIQUIP.COM  
800-421-1244