

## 3.6. Compactación

Comprende la selección de métodos y equipos, controles y recomendaciones para la compactación del hormigón.

<b>Temas tratados</b>	3.6.1. Objetivo de la compactación
	3.6.2. Métodos de compactación
	3.6.3. Vibradores internos
	3.6.4. Imperfecciones más graves debido a una vibración inefectiva
	3.6.5. Revibración

### 3.6.1. OBJETIVO DE LA COMPACTACIÓN

El proceso de compactación tiene como objetivo obtener la máxima compacidad del hormigón, eliminando huecos y aire atrapado durante la colocación, para asegurar:

- Resistencias mecánicas (cada 1% de aire atrapado, adicionalmente al natural, puede reducir en más de 5% la resistencia mecánica), densidad e impermeabilidad
- Rellenar completamente los moldajes
- Textura superficial requerida
- Durabilidad.

### 3.6.2. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

Hay diferentes métodos de compactación, ya sea manuales o mecánicos. Dentro de los mecánicos, los de vibración son los más usados, especialmente el vibrador interno.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A** **Métodos manuales**
- B** **Métodos mecánicos vibratorios**
  - B.1. Vibradores de moldaje
  - B.2. Vibradores de superficie
  - B.3. Vibradores internos

#### **A** **Métodos manuales**

CARACTERÍSTICAS	USOS PRINCIPALES
<ul style="list-style-type: none"><li>- No son recomendables</li><li>- Conducen a bajos rendimientos y requieren de cuidadosa supervisión para asegurar compactación total.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Obras muy pequeñas</li></ul>



## **B Métodos mecánicos vibratorios**

### **B.1. Vibradores de moldaje**

CARACTERÍSTICAS	USOS PRINCIPALES
<ul style="list-style-type: none"><li>• En general deberían operar con frecuencias superiores a 6000 VPM (en mezclas muy secas, con menores a 3 cm, se usan frecuencias asentamientos menores).</li><li>• Frecuencias mayores o iguales a 6000 VPM, dan mayores grados de compactación y mejor calidad de superficie, además disminuyen la fatiga de los moldajes (debido a la menor amplitud de vibración).</li><li>• El espesor del elemento a compactar debe ser menor a 30 cm. Los vibradores deben ubicarse a distancias similares a su radio de acción.</li><li>• Los moldajes deben ser fuertes y rígidos, tal que vibren sin experimentar distorsiones, ni permitan filtraciones de mortero.</li><li>• Debe aislarse la zona a vibrar de la endurecida, con goma u otro sistema para que la energía vibratoria no se traspase (al sector endurecido).</li><li>• El material más adecuado para los moldajes es el acero (se puede usar plástico, madera u hormigón reforzado, todo bajo un diseño</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Principalmente en elementos pre-fabricados.</li><li>• Inusualmente en hormigón estructural como suplemento de los vibradores internos en secciones muy delgadas y/o congestión del refuerzo (dificultad de entrada y salida de los vibradores).</li><li>• Útiles para reducir los huecos de aire en superficies moldeadas.</li><li>• Revestimientos de hormigón.</li></ul>

### **B.2. Vibradores de superficie**

CARACTERÍSTICAS	USOS PRINCIPALES
<ul style="list-style-type: none"><li>• Consolidan y ayudan a nivelar la superficie. La más usada es la regla (cercha) vibradora (opera con frecuencias entre 3000 y 6000 VPM).</li><li>• Pueden compactar superficies de hasta:<ul style="list-style-type: none"><li>• 20 cm (si no son reforzadas)</li><li>• 15 cm (si se trata de losas débilmente reforzadas). En ambos casos los asentamientos deben estar entre 2,5 y 5 cm</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Losas y pisos (pendiente inferior a 20%)</li><li>• Pavimentos.</li></ul>

### **B.3. Vibradores internos**

CARACTERÍSTICAS	USOS PRINCIPALES
<ul style="list-style-type: none"><li>• Muy efectivos ya que transmiten su energía directamente al hormigón.</li><li>• Por su diseño, tamaño y peso, maniobrabilidad y precio, son los más usados</li><li>• Pueden compactar mezclas de cualquier fluidez.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hormigón estructural</li><li>• Hormigón en masa</li><li>• Pisos</li><li>• Elementos prefabricados</li><li>• En ocasiones es conveniente complementar su uso con compactación, mediante varillado (en lugares de difícil acceso, tal como el espacio entre moldaje y la armadura).</li></ul>

### 3.6.3. VIBRADORES INTERNOS

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A** Características de los vibradores internos
- B** Métodos prácticos para determinar el diámetro de acción y la distancia entre inserciones
- C** Recomendaciones de diámetros de acción y capacidad de compactación
- D** Características y aplicaciones de los vibradores internos (Ref. ACI 309)
- E** Recomendaciones para el uso adecuado de los vibradores internos

#### **A** Características de los vibradores internos

CARACTERÍSTICAS	FACTORES DE LOS QUE DEPENDE
- Efectividad en consolidar el hormigón	Principalmente de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro de la botella</li> <li>• Frecuencia</li> <li>• Amplitud</li> </ul>
- Diámetro de acción y espaciamiento entre inserciones	Características del vibrador y trabajabilidad de la mezcla

#### **B** Métodos prácticos para determinar el diámetro de acción y la distancia entre inserciones

$d$  = Diámetro del vibrador  
 $D$  = Diámetro de acción  
 $S$  = Distancia entre inserciones

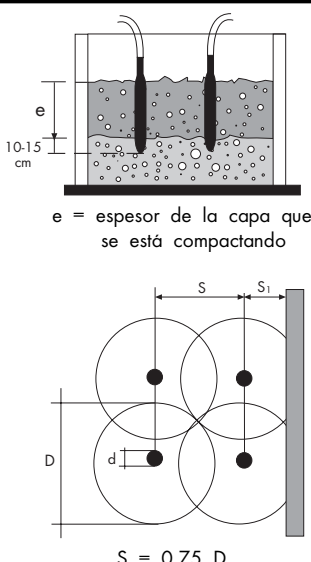
	SE RECOMIENDA
 <p><math>e = 10-15</math> cm</p> <p><math>e</math> = espesor de la capa que se está compactando</p> <p><math>S = 0,75 D</math></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diámetro de acción (<math>D</math>) <ul style="list-style-type: none"> <li>Para <math>d &lt; 10</math> cm; <math>D</math> varía aproximadamente entre <math>10 d</math> y <math>6 d</math>, pudiendo tomarse: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>D = 8 d</math></li> </ul> </li> <li>Para <math>d \geq 10</math> cm; <math>D</math> se puede considerar aproximadamente: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>D = 7 d</math></li> </ul> </li> </ul> </li> <li>2. Distancia entre inserciones (<math>S</math>) <ul style="list-style-type: none"> <li><math>S</math> se puede considerar como: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>S = 0,75 D</math></li> </ul> </li> </ul> </li> <li>3. Distancia del vibrador al moldaje (<math>S1</math>) <ul style="list-style-type: none"> <li><math>S1</math> se puede considerar como: <ul style="list-style-type: none"> <li><math>S1 = 3 d</math></li> </ul> </li> </ul> </li> </ol> <p>OBSERVACIÓN:</p> <p>Se puede verificar el diámetro de acción introduciendo una barra metálica a diferentes distancias del vibrador.</p>

FIGURA N°32



### C Recomendaciones de diámetros de acción y capacidad de compactación

	DIÁMETRO DEL VIBRADOR (mm)			
	25	50	75	100
DIÁMETRO DE ACCIÓN (cm)	15 - 30	30 - 50	50 - 70	60 - 100
CAPACIDAD DE COMPACTACIÓN (m <sup>3</sup> /h)	—	7 - 15	15 - 25	30 - 40

### D Características y aplicaciones de los vibradores internos (Ref. ACI 309)

DIÁMETRO DE LA BOTELLA (mm)	FRECUENCIAS RECOMENDADAS VPM (HZ)	(1) VALOR SUGERIDO DE LA AMPLITUD (mm)	(2) VALOR APROXIMADO DEL DIÁMETRO DE ACCIÓN (cm)	(3) VALOR APROXIMADO DE CANTIDAD DE HORMIGÓN COLOCADO Y COMPACTADO EN m <sup>3</sup> /h POR VIBRADOR
20 - 40	10.000 - 15.000 (170 - 250)	0,4 - 0,8	16 - 30	0,8 - 4
APLICACIONES: Hormigón de alta fluidez, en secciones muy delgadas y con alta densidad de armaduras.				
30 - 60	9.000 - 13.500 (150 - 225)	0,5 - 1,0	26 - 50	2,3 - 8
APLICACIONES: Hormigón plástico, en vigas, columnas, losas y muros delgados.				
50 - 90	8.000 - 12.000 (130 - 200)	0,6 - 1,3	36 - 72	4,6 - 15
APLICACIONES: Hormigón con asentamiento de cono menor a 7,5 cm. Construcción en general pero más masiva. También como vibrador auxiliar para el hormigón en masa (cerca de los moldajes) y para pavimentos.				
80 - 150	7.000 - 10.500 (120 - 180)	0,8 - 1,5	60 - 102	11 - 31
APLICACIONES: Hormigón con asentamiento de cono entre 0 - 5 cm, depositado en cantidades hasta de 3 m <sup>3</sup> , en estructuras de construcción pesada, relativamente abiertas. También en vibración auxiliar de diques, represas y otros.				
130 - 180	5.500 - 8.500 (90 - 140)	1,0 - 2,0	80 - 122	19 - 38
APLICACIONES: Hormigón muy masivo (grandes diques y estribos, muros en masa, etc.). Dos o más vibradores serán requeridos para compactar cantidades de 3 m <sup>3</sup> o más depositadas de una sola vez en los moldajes.				

OBSERVACIÓN:

- (1) : Mientras el vibrador está en el hormigón.
- (2) y (3) : Estos rangos reflejan no sólo la capacidad del vibrador, sino también diferencias en la trabajabilidad de la mezcla, grado de compactación deseado y otras condiciones basadas en experiencias en construcción.
- (3) : Estos valores asumen que el espaciamiento entre inserciones es de 0,75 veces el diámetro de acción, y que el vibrador opera 2/3 del tiempo usado en la colocación.

NOTA: Se recomienda verificar la frecuencia de los vibradores mediante aparato medidor de vibración.

## E Recomendaciones para el uso adecuado de los vibradores internos

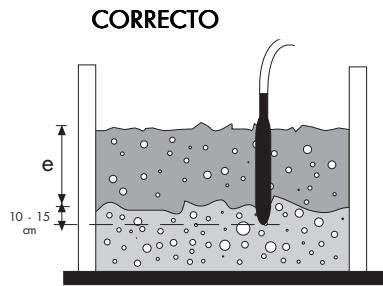


FIG. 33:  
e = espesor de la capa que se está compactando



FIG. 34:  
El vibrador no se debe usar para transportar y distribuir el hormigón (no debe arrastrarse dentro de él), esto causa segregaciones. Tampoco se debe permitir su funcionamiento fuera del hormigón por un período prolongado de tiempo.

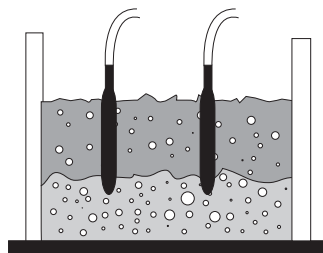


FIG. 35:  
Penetración vertical del vibrador en la capa previa (la cual no debe estar dura), con inserciones sistemáticas a intervalos regulares.

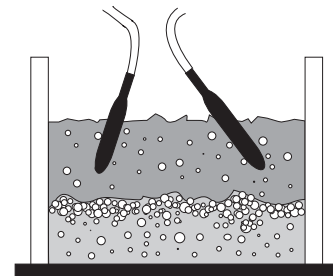


FIG. 36:  
Inserciones al azar, en cualquier ángulo y espaciado, sin penetrar en la capa previa (o con profundidad insuficiente), tal que no se asegura el monolitismo.

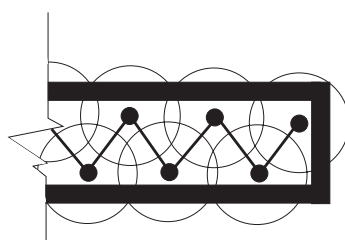
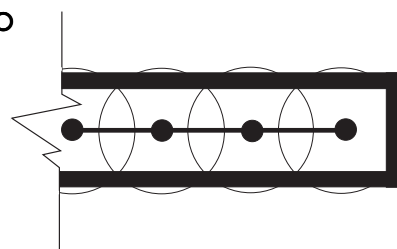


FIG. 37



**INCORRECTO**

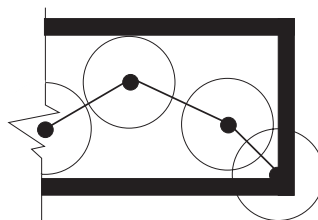


FIG. 38

FIG. 37 y 38:  
Se deben establecer mallas de vibración a intervalos regulares y en forma sistemática de acuerdo al diámetro efectivo del vibrador. Los diámetros de vibración deben traslaparse para provocar una total compactación en todo el área.



### HORMIGONADO EN PENDIENTE

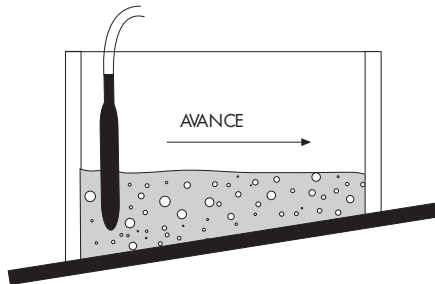


FIG. 39: Hormigón colocado en elemento con fondo en pendiente; tanto la colocación como la compactación deben iniciarse en las zonas de menor cota.

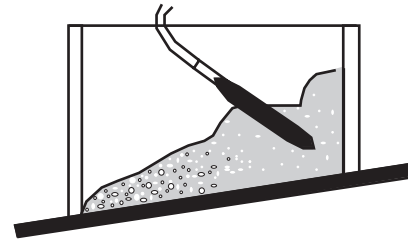


FIG. 40: Si la colocación o la compactación se inician en las zonas de mayor cota, el hormigón superior fluye disgregándose.

### CORRECTO

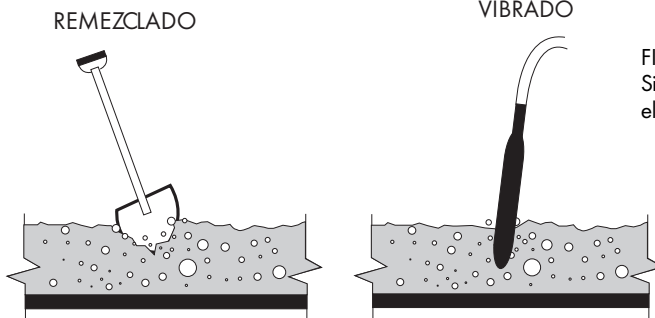


FIG. 41: Si se producen nidos de piedra, debe remezclar el hormigón y luego vibrar.

### INCORRECTO

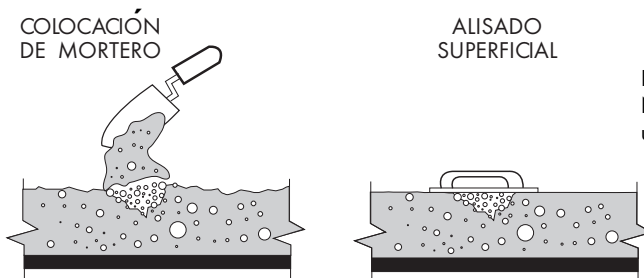


FIG. 42: No se debe ocultar un nido de piedra colocando una capa de mortero.

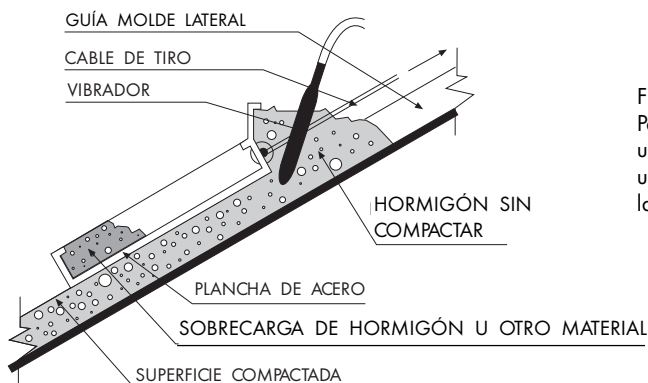


FIG. 43: Para la compactación de un hormigón que tiene una pendiente mayor o igual a un 25%, se utiliza un moldaje deslizante (tiene la ventaja de hacer la terminación superficial además).

### Recomendaciones generales

- El vibrador debe sumergirse rápidamente en forma vertical penetrando en la capa previa entre 10 - 15 cm (la cual no debe estar dura).  
En superficies cuyo espesor es delgado (casos de losas delgadas), debe introducirse en un ángulo o en posición horizontal. Debe permanecer estacionario entre 5 - 15 segundos (hasta que la compactación se considere adecuada); la extracción debe ser lenta a una velocidad de 5 - 7,5 cm/seg, con el vibrador en funcionamiento. El hormigón debe rellenar el hueco dejado por el vibrador. En mezclas secas, si esto no sucede, a veces se resuelve el problema reinsertando el vibrador. Si lo anterior no es efectivo, la mezcla o el vibrador deben cambiarse.
- Se debe proveer equipo en buenas condiciones y personal suficiente para compactar el hormigón en condiciones normales de colocación.  
Si la razón de consolidación se ve disminuida por congestión en el punto de colocación, falla del equipo, manejabilidad desfavorable de la mezcla, u otras causas, hay que reducir la producción del hormigón. (No se debe acumular hormigón sin consolidar en el punto de colocación o permitir que el hormigón se endurezca en la hormigonera o en el elemento de transporte).
- Se debe penetrar el vibrador alrededor del refuerzo, de los elementos embebidos y en las esquinas de moldajes; sin embargo, se debe evitar tocar el moldaje, alejándolo aproximadamente 5 cm de él, ya que puede dañarlo y consecuentemente desfigurar la superficie.  
Se debe evitar el vibrado de las armaduras intencionalmente. (Es recomendable varillar el hormigón para ayudar al vibrador mecánico). Vibrador muy cerca del moldaje o vibración variable cerca del moldaje conduce a variaciones de color en la superficie.

Si usted ha seguido las recomendaciones entregadas, puede verificar la efectividad de la compactación observando las características de la superficie.

Los principales indicadores de una compactación efectiva son:

- Partículas de agregado grueso quedan embebidas en la mezcla
- Nivelación general de la mezcla
- Muestra de pasta de cemento en la unión del hormigón con el moldaje
- Cese de burbujas de aire en la superficie
- A veces el sonido del vibrador ayuda a detectar la completa compactación. (Esto lo pueden percibir los operadores experimentados).

### - ¿Dudas acerca si la compactación realizada ha sido suficiente?

Un hormigón de peso normal, bien dosificado y con asentamiento adecuado, se ve poco afectado por una moderada sobrevibración.

Sin embargo, el hormigón que permite ser fácilmente vibrado, es o demasiado húmedo o demasiado susceptible a la segregación, y en tal caso se podría reducir el asentamiento más que la cantidad de vibración o, de ser posible, modificar las proporciones de la mezcla.



- **¿Qué pasa si la mezcla es de hormigón liviano o pesado?**

En mezclas de hormigón liviano o pesado, la vibración debe adecuarse a la necesaria para obtener una compactación efectiva.

**3.6.4. IMPERFECCIONES MÁS GRAVES DEBIDO A UNA VIBRACIÓN INEFECTIVA**

NIDOS POR FALTA DE COMPACTACIÓN
<p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vibración insuficiente               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibradores inadecuados o defectuosos</li> <li>• Vibración no sistemática</li> <li>• Vibrador inclinado al azar</li> </ul> </li> </ul> <p>Otras causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mala dosificación del hormigón</li> <li>• Insuficiente contenido de pasta</li> <li>• Razón cemento/arena inapropiada</li> <li>• Asentamiento inadecuado</li> <li>- Congestión de armaduras.</li> </ul>

HUECOS DE AIRE EN LA SUPERFICIE
<p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Vibración insuficiente               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibrador con amplitud muy alta</li> <li>• Vibrador insuficientemente sumergido</li> <li>• Vibración externa inadecuada</li> </ul> </li> </ul> <p>Otras causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mala dosificación               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezclas secas poco trabajables</li> <li>• Excesiva cantidad de arena y de aire</li> </ul> </li> <li>- Colocación muy lenta</li> <li>- Desmoldante de alta viscosidad o aplicado en capas gruesas.</li> </ul>

VEVAS DE ARENA
<p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sobrevibración</li> <li>- Excesiva vibración</li> <li>- Excesiva amplitud</li> <li>- Sobre manipulación</li> </ul> <p>Otras causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mezclas pobres (deficientes en cemento y agregados mal graduados)</li> <li>- Arena con deficiente contenido de finos</li> <li>- Mezclas con bajo contenido de aire</li> <li>- Bajas temperaturas y condiciones de colocación muy rápidas para el tipo de mezcla, además mezclas húmedas</li> <li>- Moldajes de baja absorción.</li> </ul>

LÍNEAS ENTRE CAPAS DE HORMIGONADO
<p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Insuficiente vibración</li> <li>- Insuficiente compactación</li> <li>- Falla del vibrador en penetrar la capa previa</li> <li>- Alta temperatura</li> <li>- Mezcla húmeda con tendencia a exudación</li> <li>- Colocación lenta.</li> </ul>

**3.6.5. REVIBRACIÓN**

Es el proceso de volver a vibrar un hormigón que ha sido vibrado anteriormente.

CARACTERÍSTICAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de la resistencia a la compresión</li> <li>- Liberación del agua adicional atrapada bajo la armadura horizontal (aumentando su adherencia al hormigón)</li> <li>- Unión mejorada (entre capas)</li> <li>- Remueve burbujas de aire adicionales</li> <li>- Minimiza filtración por los pernos del moldaje</li> <li>- Da mayores beneficios para mezclas más húmedas</li> <li>- Particularmente benéfica para los primeros 0,5 - 1 m superiores</li> <li>- Mejores resultados son obtenidos si es ejecutada lo más tarde posible.</li> </ul>
LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se puede realizar sólo si el vibrador se puede sumergir en la mezcla bajo su propio peso mientras se encuentra funcionando y el hormigón se convierte inmediatamente a una condición plástica</li> <li>- Poco recomendable sin un control muy estricto de un profesional.</li> </ul>