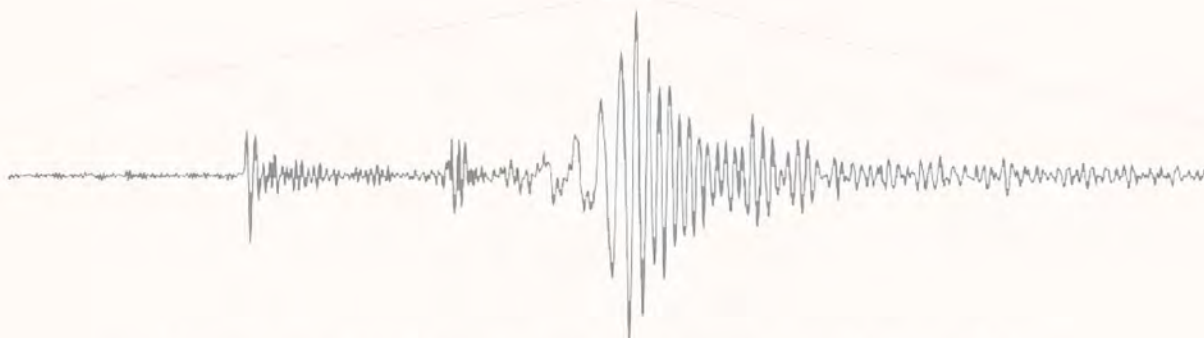




# REHABILITACIÓN SÍSMICA DE CASAS EN ZANCOS



Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico  
Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura  
Universidad de Puerto Rico en Mayagüez

-2da edición-

**José A. Martínez Cruzado • Ricardo R. López Rodríguez**  
**• Yvonne González Avellanet**



---

---

# REHABILITACIÓN SÍSMICA DE CASAS EN ZANCOS

---

---

Segunda Edición

*José A. Martínez Cruzado*

*Catedrático*

*Ricardo R. López Rodríguez*

*Catedrático Jubilado*

*Yvonne González Avellanet*

*Ingeniera Estructural*

*Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico  
Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura  
Universidad de Puerto Rico en Mayagüez*

Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico  
Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura  
Universidad de Puerto Rico en Mayagüez  
Apartado 9000  
Mayagüez, Puerto Rico 00681-9000

**REHABILITACIÓN SÍSMICA DE CASAS EN ZANCOS, 2da edición**

©José A. Martínez Cruzado  
Ricardo R. López Rodríguez  
Yvonne González Avellanet

**ISBN: 978-1-970166-57-6**

IMPRESO EN LA EDITORIAL COLEGIAL  
MAYAGÜEZ, PUERTO RICO

## ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Propósito de la Guía .....	2
<b>2. Clasificación de las Casas en Zancos .....</b>	<b>4</b>
2.1. Casas en la Jalda .....	5
2.2. Casas en Llano .....	6
<b>3. Alternativas de Rehabilitación Estructural para su Casa en Zancos .....</b>	<b>9</b>
3.1. Alternativa #1: Construcción de Paredes de Hormigón Armado ENTRE las Columnas Existentes .....	9
3.1.1. Instalación de <i>Dowels</i> por Todo lo Largo de la Parte Inferior de la Viga Superior .....	10
3.1.2. Instalación de <i>Dowels</i> por Toda la Altura de las dos Columnas Adyacentes .....	12
3.1.3. Instalación de <i>Dowels</i> sobre las Cimentaciones Existentes .....	14
3.1.4. Construcción de la Zapata para la Pared Entre los dos Zancos o Columnas Seleccionadas .....	15
3.1.5. Construcción de la Pared de Hormigón Armado Entre las Columnas y Viga Existente .....	19
3.1.6. ¿Qué Pasa si las Zapatas de las dos Columnas Existentes no Están al Mismo Nivel? .....	21
3.1.7. ¿Qué Pasa si hay una Viga Intermedia Entre el Suelo y la Viga que Soporta la Casa? .....	24
3.2. Alternativa #2: Construcción de Paredes de Hormigón Armado ABRAZANDO las Columnas Existentes .....	26
3.2.1. Determinar Ancho o Espesor de la Pared que se Va a Construir .....	27
3.2.2. Determinar Tanto la Varilla Vertical Como Horizontal que se Colocará Como Doble Cortina en la Pared .....	28
3.2.3. Instalación de <i>Dowels</i> en la Parte Inferior de la Viga Superior .....	28
3.2.4. Construcción de la Zapata para la Pared de Hormigón Armado .....	30
3.2.5. Construcción de la Pared de Hormigón Armado Abrazando Columnas y Vigas Existentes .....	33
<b>4. Diseño de Mezcla de Hormigón .....</b>	<b>36</b>
<b>5. Estimado de Costo .....</b>	<b>37</b>



## 1. Introducción

La Isla de Puerto Rico se halla rodeada por fallas sísmicas. Paralelo a la costa norte está la Trinchera de Puerto Rico capaz de generar terremotos de Magnitud un poco mayor a 8.0. Esta falla marca la frontera entre la Placa de Norteamérica y la Placa del Caribe. Paralelo a la costa oeste, a unos 45 km se halla el Cañón de la Mona, en donde ocurrió el terremoto del 11 de octubre de 1918, de Magnitud 7.3, que cobró la vida de 116 personas, incluyendo 40 por el tsunami que generó con olas de 20 pies en la zona de Aguadilla; paralelo a la costa sur se encuentra la Falla de Muertos, capaz de generar terremotos de magnitud hasta de 7.5 y, por último, la Falla de Anegada, al este de la Isla, corre de suroeste a noreste paralelo a las Islas Vírgenes Americanas y Británicas hasta intersectar la Trinchera de Puerto Rico cerca de la Isla de Anegada. En esta última falla ocurrió el terremoto de 18 de noviembre de 1867 que también generó un tsunami con olas de unos 20 pies de altura.

A principios de la década de los 1980's aún se consideraba que la isla de Puerto Rico se hallaba en una sola pieza. Sin embargo, el 31 de mayo de 1987 se disparó un sismo con epicentro en Boquerón, Cabo Rojo de Magnitud 4.9 que averió varias estructuras incluyendo la escuela principal del barrio. Este evento generó un movimiento para investigar fallas en la zona. En el 2000 el Servicio Geológico de Estados Unidos halló la falla sísmica que entra por la bahía de Boquerón y continúa hacia el valle de Lajas. Se determinó que la misma ha experimentado dos grandes terremotos que han fracturado la superficie del terreno. Por la extensión de la falla se estima que es capaz de generar terremotos hasta de Magnitud 7.0. De manera similar, a finales del 2012, el Buró de Reclamaciones halló otra falla sísmica activa en el Municipio de Juana Díaz, específicamente entre el Río Cañas y el Río Descalabrado y al sur de la PR-52. Esta falla también ha experimentado dos terremotos que han roto la superficie. Se entiende que esta es la misma falla que corta la Represa Cerrillos en Ponce y que está expuesta a simple vista. Recientemente, el 15 de abril de 2024, el Servicio Geológico halló otra falla sísmica, esta vez en el Municipio de Salinas, específicamente en la orilla norte de la PR-52 en el km 70.3 la cual, al igual que en las otras dos, ha habido dos terremotos que han fracturado la superficie. El USGS tomó muestras de rocas para determinar aproximadamente cuando estos terremotos han ocurrido. Esta última falla se extiende por unos 120 km. Entra a tierra por la Central Aguirre en Salinas, cruza toda la isla pasando por los municipios de Santa Isabel, Juana Díaz, Ponce, Adjuntas, Lares, San Sebastián, Moca y sale por el Río Culebrinas que marca la colindancia entre los Municipios de Aguadilla y Aguada. Aunque los científicos consideran muy poco probable que en un solo evento rompa por toda la extensión de los 120 km, de ocurrir, pudiera generar un terremoto de magnitud 8.0.

En las tres fallas presentadas se han abierto trincheras para inequívocamente señalar la localización exacta de las fallas. Por otro lado, durante la primavera del 2023 y 2024 se han estado realizando estudios no invasivos que indican la existencia de fallas sísmicas en múltiples



localidades, a saber; en Lajas, en la finca que colinda por el este con donde se alberga el aerostato; también en Lajas inmediatamente al norte de la Bahía Luminiscente y de la PR-324 en la localidad de Para La Naturaleza; otra más en Lajas al norte de la PR-116; entre la colindancia de Lajas y Guánica; tres que se hallaron en una finca de mangós en Santa Isabel; otras dos en Salinas; y una en Añasco en la frontera entre el valle y la cadena de montañas. Todas estas fallas requieren de estudios más detallados para determinar su localización exacta, determinar si están activas o no, y de estarlo, cuál sería la magnitud máxima y la frecuencia de los sismos. De esta docena de fallas sísmicas solo la hallada en Boquerón en el 2000 es considerada en el Mapa de Peligrosidad Sísmica de Puerto Rico.

La importancia de diseñar y construir adecuadamente las estructuras quedó claramente evidenciada en el año 2010 cuando ocurrieron dos grandes terremotos en el nuevo continente. A saber, el martes 12 de enero, alrededor de las cinco de la tarde, ocurrió un terremoto en Haití de magnitud 7.0 que cobró la vida de unos 250,000 habitantes. Mes y medio después, el sábado 27 de febrero, pasada las tres de la madrugada, ocurrió otro terremoto. Esta vez en Constitución, Chile, de magnitud 8.8 donde murieron unos 550 habitantes, la inmensa mayoría por un tsunami generado con olas de 100 pies de altura. Fíjese que este último terremoto liberó una cantidad de energía 500 veces mayor al de Haití. Sin embargo, murió menos del medio por ciento ( $< 0.50\%$ ) de los que fallecieron en Haití. Estos hechos demuestran sin lugar a dudas los beneficios de diseñar y construir apropiadamente las estructuras, mientras en Haití no se seguían códigos de construcción, en Chile se siguen códigos sumamente exigentes y la construcción de estas estructuras tiende a estar satisfactoriamente inspeccionadas.

En conclusión, la Isla de Puerto Rico no solo está rodeada de fallas sísmicas activas sino que está cundida de fallas dentro de la propia Isla. Han ocurrido terremotos de alta y moderada intensidad en el pasado, y nos puede sorprender un gran terremoto en cualquier momento. Por tal motivo, debemos asegurarnos de que no solo nuestras casas estén siempre listas para resistir un terremoto de alta intensidad, sino que queden útiles luego del evento. De otro modo corremos el alto riesgo de quedarnos en la calle, sin hogar.

## 1.1. Propósito de la Guía

Existe mucha preocupación sobre el desempeño, durante un gran terremoto, de las residencias elevadas sobre columnas gravitatorias en terrenos inclinados, comúnmente conocidas como casas en zancos (ver Figura 1).

Un estudio realizado en el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez encontró que todas las estructuras residenciales en zancos, típicas en la zona montañosa de Puerto Rico, colapsarían de ser sometidas cada una de



## MARTÍNEZ CRUZADO, LÓPEZ RODRÍGUEZ, GONZÁLEZ AVELLANET

ellas al terremoto de diseño que estipula el Código de Edificación Uniforme de 1997. Y peor aún, es bien sabido que este código ni tan siquiera consideraba las fallas sísmicas que se han hallado dentro de la Isla. Quedó demostrada la alta vulnerabilidad de estas casas en zancos cuando el sismo predecesor, de Magnitud 5.8, sacudió el pueblo de Guánica al amanecer del 6 de enero de 2020. Durante ese evento moderado colapsaron 6 casas; las 6 estaban sobre zancos. La madrugada siguiente, del 7 de enero de 2020, se disparó el terremoto principal de Magnitud 6.4 que hizo colapsar una gran cantidad de casas, la inmensa mayoría sobre zancos.

Dado el inminente peligro en la que se encuentran estas residencias en zancos los autores se dieron a la tarea de preparar esta guía para la rehabilitación estructural de estas residencias con la esperanza de que los jefes de familias, ahora consientes de la gran amenaza sísmica a la que están continuamente sometidas, tomen acción firme y urgente, y se decidan reforzar las mismas, según esta guía, antes de que ocurra el próximo gran terremoto. Esta segunda edición ha modificado ciertos aspectos de la rehabilitación sísmica para satisfacer los códigos de edificación más recientes.

Una medida clara de fragilidad de su residencia es que usted estando en tal residencia en zancos sienta temblores que poca gente siente. Al usted seguir esta guía y completar la rehabilitación que aquí se recomienda usted notará que desde ese momento en adelante usted sentirá muchos menos sismos, y los que sienta habrán sido sentidos por muchas más personas indicando así que ya su familia no sentirá los sismos más pequeños gracias a que usted habrá hecho más rígida su casa.

La guía que aquí se presenta se ha preparado para casas típicas de un piso construidas sobre una torta de hormigón armado la cual a su vez está sobre zancos o columnas. ***Usted siempre deberá consultar a un Ingeniero Geotécnico Licenciado que verifique la estabilidad del terreno donde su casa se halla enclavada*** y le realice recomendaciones en caso de que identifique potenciales peligros al realizar las excavaciones. Ya que su casa pudiera tener algún aspecto no típico entonces usted ***siempre deberá consultar también a un Ingeniero Estructural Licenciado para determinar si lo sugerido en esta guía es suficiente para mantener en el rango elástico el sistema de zancos ante el terremoto de diseño del Código de Construcción vigente o, si se debe ser más severo.*** Si su casa es de más de una planta estas guías pudieran no ser suficiente por lo que el Ingeniero Estructural deberá llevar a cabo una revisión del diseño y modificarlo, de considerarlo necesario, para que tome en cuenta la sobrecarga que representa uno o más pisos adicionales. El diseño deberá dirigirse a que su residencia se mantenga en el rango elástico aún sometido al terremoto de diseño del código vigente. En adición, ***un Ingeniero Estructural Licenciado tiene que supervisar de forma continua la construcción de cualquiera de las dos alternativas que en esta guía se recomiendan.*** Los autores no se hacen responsables de rehabilitaciones llevadas a cabo sin seguir al pie de la letra estas recomendaciones ni de estructuras rehabilitadas sometidas a terremotos más severos al terremoto de diseño.

Ya que esta guía está dirigida a la gente de pueblo, se ha escrito en un lenguaje sencillo, en algunos casos coloquial, y se evita utilizar términos técnicos. En adición, los materiales que se recomiendan son aquellos más fáciles de hallar en las ferreterías de la Isla, y las capacidades de los materiales las que más se utilizan en el ambiente de la construcción en Puerto Rico. El rehabilitar su casa en zancos, según se presenta en esta guía, debe costarle alrededor de \$8,000 por cada pared nueva que se construya. Al requerirse tres o cuatro paredes, según sea el caso, el costo total de rehabilitación debe rondar en los \$24,000 o \$32,000 sin considerar los honorarios de los ingenieros. Sinceramente esperamos que este manual sea de gran utilidad y que sirva para salvaguardar las vidas y las propiedades de quienes lo utilicen. Así sea.

## 2. Clasificación de las Casas en Zancos

Si usted ha llegado a este punto es porque está considerando seriamente tomar acción para rehabilitar su casa apoyada en zancos. El primer paso que deberá llevar a cabo es identificar si su casa está en una jalda o pendiente, según se puede ver en la Figura 1A, de modo que tres de los cuatro lados u orillas de su casa están apoyados en zancos o si, por otro lado, su casa está en un llano de modo que los cuatro lados están apoyados en zancos. Ver la Figura 1B.



A

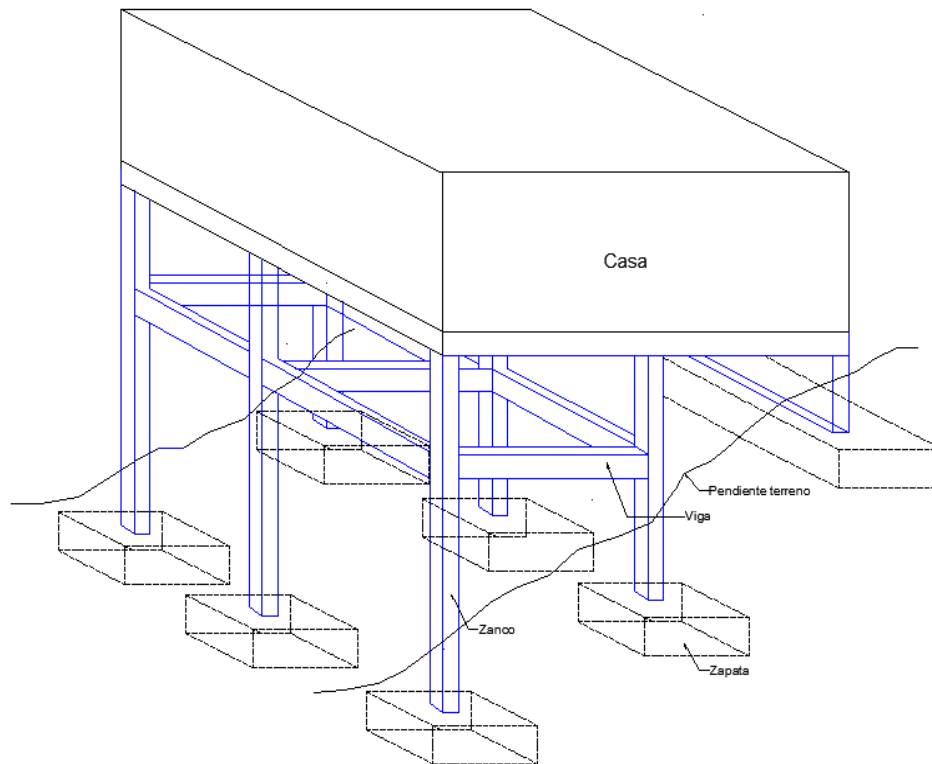


B

Figura 1. Ejemplo de Casas Típicas en Zancos, A) Sobre la Jalda, B) Sobre un Llano

## 2.1. Casas en la Jalda

Si su casa está en una jalda o pendiente probablemente tendrá tres lados apoyados en zancos, como se ilustra en la Figura 2. En cada uno de esos tres lados usted deberá identificar un tramo entre dos zancos o columnas en la cual se llevará a cabo la rehabilitación construyendo una pared de hormigón armado según se explica en las próximas secciones. Se sugiere que en los dos lados que van en dirección jalda abajo se seleccione el tramo más cercano a la calle pues estos tramos tienden a ser más accesibles y requerirán menos material de construcción abaratando los costos. Por otro lado, en el lado que va en dirección paralela a la calle, que usualmente es la de los zancos de mayor altura, se sugiere seleccionar el tramo entre dos columnas o zancos que sean los de menor altura para así facilitar la construcción (ver Figura 3).



*Figura 2. Casa en Zancos en una Jalda*

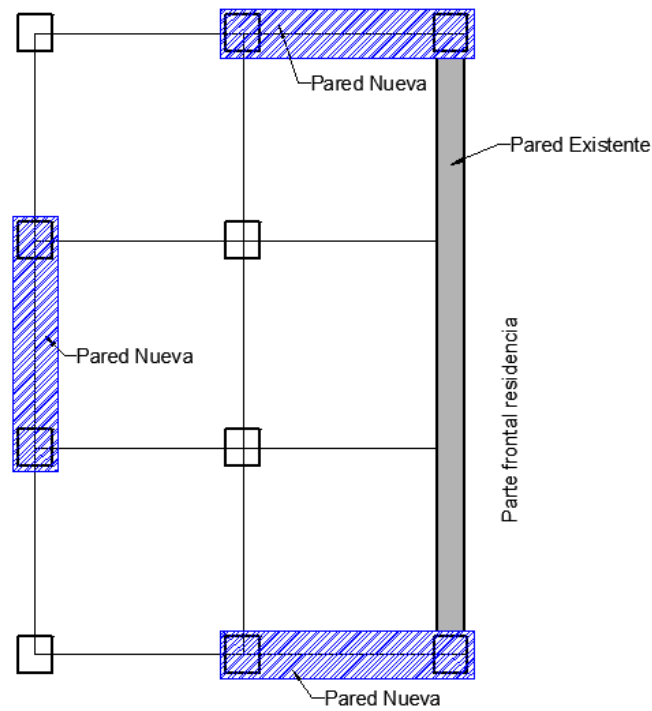


Figura 3. Vista en Planta de Casa en Zancos con Posible Localización de las Paredes Nuevas

## 2.2. Casas en Llano

Si su casa está en un llano, según se puede ver en las Figuras 1B y 4, entonces tendrá los cuatro lados apoyados en zancos. Usted deberá seleccionar un tramo entre dos columnas o zancos en cada uno de los cuatro lados para construir una pared de hormigón armado según se explica en las secciones que siguen. Una posibilidad es que usted seleccione el tramo central en cada lado de la casa según se ilustra en la Figura 5. Otra alternativa puede ser que usted decida construir dos paredes en forma de L diametralmente opuestas según se muestra en la Figura 6A. Desde el punto de vista de resistencia estructural no hace diferencia utilizar una o la otra alternativa. De hecho, usted pudiera combinar ambas alternativas según se ilustra en la Figura 6B.

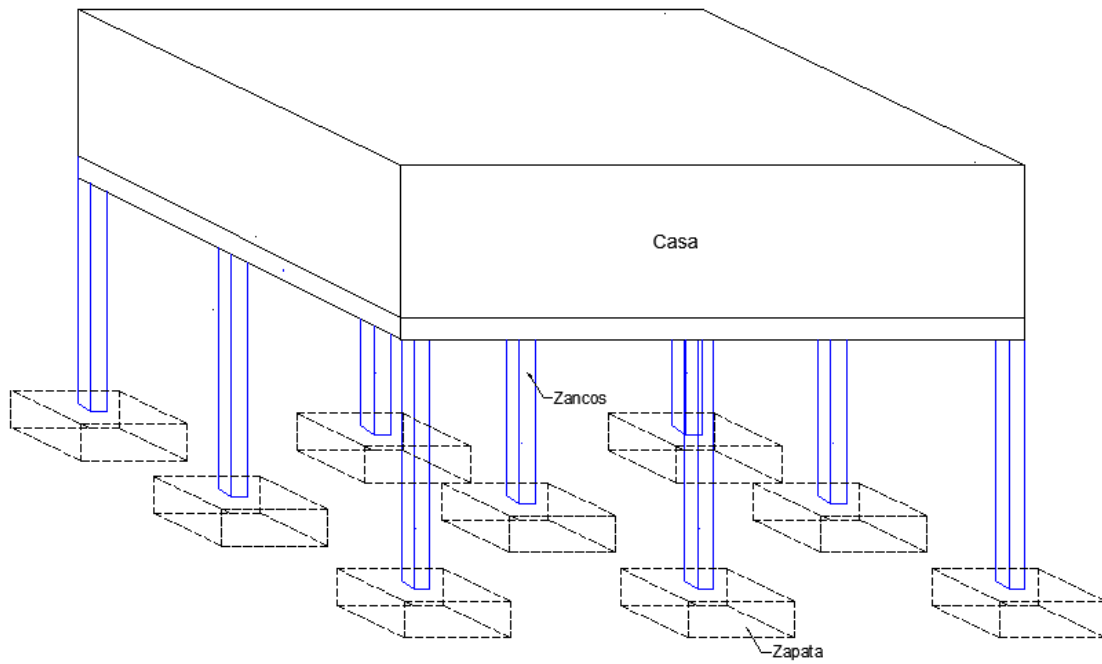


Figura 4. Casa en Zancos sobre Llano

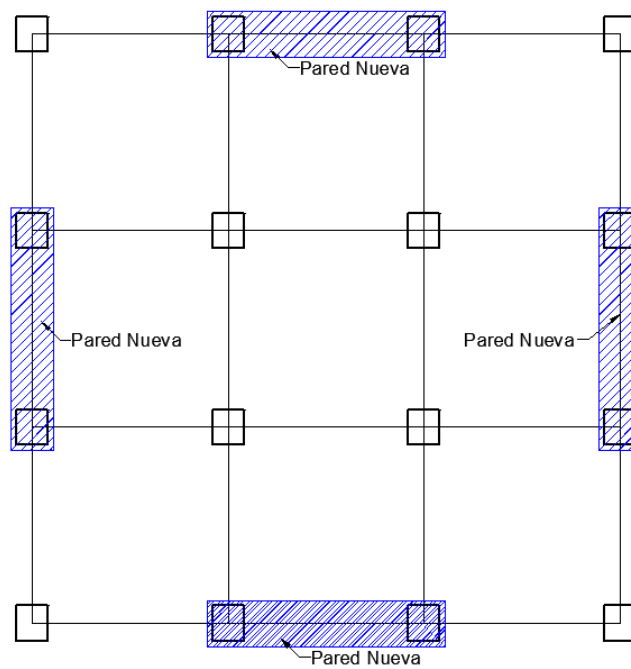


Figura 5. Paredes Nuevas en los Tramos Centrales de Cada Lado de la Casa Sobre un Llano

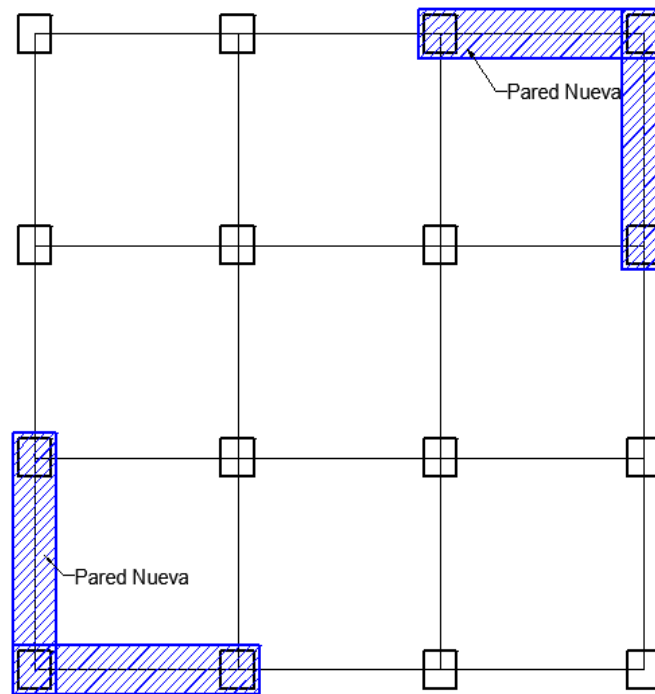


Figura 6A. Paredes Nuevas en Forma de L

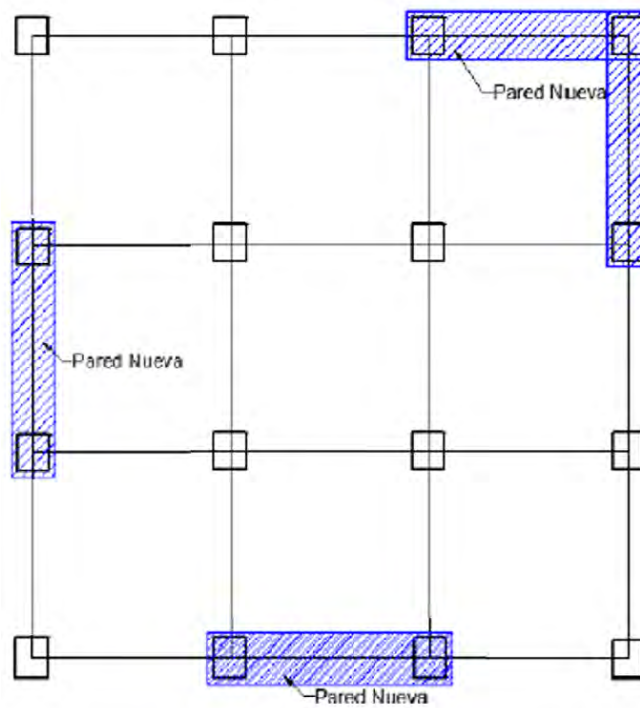


Figura 6B. Paredes Nuevas Combinando Figuras 5 y 6A.



### 3. Alternativas de Rehabilitación Estructural para su Casa en Zancos

En esta guía se presentan dos alternativas para rehabilitar estructuras apoyadas en zancos, la primera de ellas es construyendo 3 ó 4 paredes de hormigón armado **entre** las columnas o zancos existentes y la segunda es construyendo 3 ó 4 paredes de hormigón armado **abrazando** las columnas o zancos existentes. De hecho, las alternativas pueden combinarse. Todas las alternativas impedirán que los zancos de su casa colapsen ante el terremoto de diseño que establece el código actual. Además, su casa se hará mucho más rígida. Usted lo notará pues pequeños sismos que usted siente dentro de su casa, luego de llevar a cabo adecuadamente la rehabilitación, ya no los sentirá. Finalizada la rehabilitación seguramente usted podrá dormir mucho más tranquilo.

#### 3.1. Alternativa #1: Construcción de Paredes de Hormigón Armado ENTRE las Columnas Existentes

La primera alternativa de rehabilitación es la construcción de paredes de hormigón armado en los tramos seleccionados entre las columnas adyacentes existentes. En esta alternativa la pared nueva se conectará a las columnas existentes por medio de *dowels* (*clavijas*). *Dowels* son varillas que sirven para unir la pared nueva a la estructura existente. Consideremos inicialmente una estructura como la que se muestra en la Figura 7 donde las cimentaciones están en un mismo nivel y no hay vigas intermedias entre la tierra y la casa. Esta primera alternativa es apropiada siempre y cuando las columnas adyacentes tengan un ancho mínimo de 10 pulgadas. De otra manera, si el ancho de las columnas a las que se conectará la pared nueva es de menos de 10 pulgadas entonces pase a la alternativa #2. Cada pared que se va a construir, por medio de esta primera alternativa, tendrá 10 pulgadas de espesor. A cada una de estas paredes se le colocarán dos cortinas o mallas de varillas de acero. Todas las varillas de acero que se utilizarán para ser instaladas dentro de la pared son de media pulgada de diámetro (#4). Cada cortina de varilla se compone de varilla de media separada por 12 pulgadas centro a centro (#4@12”) tanto vertical como horizontal.

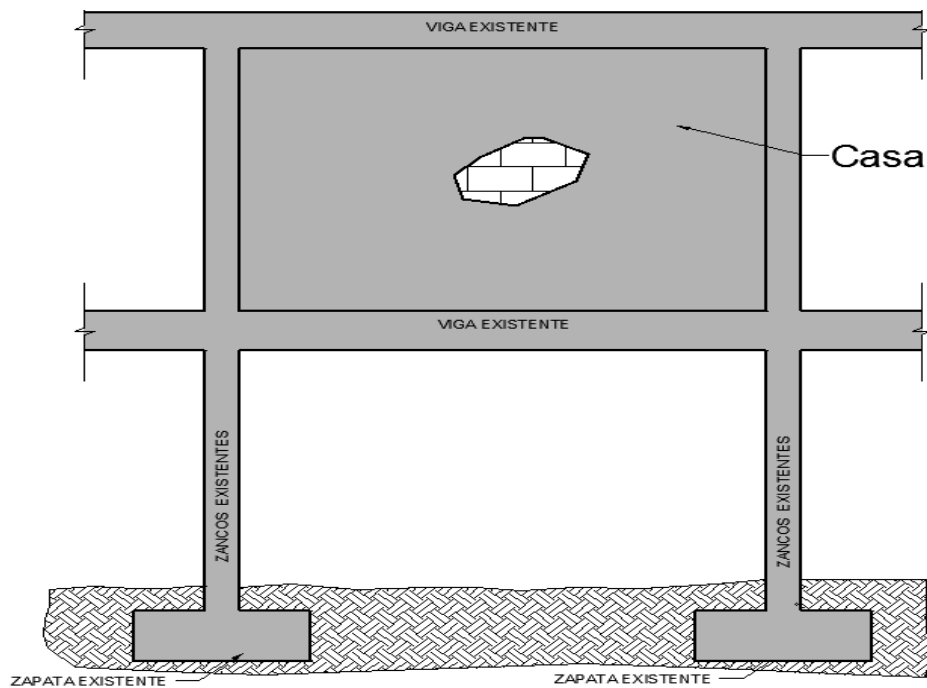


Figura 7. Casa Típica con Zancos sin Vigas Intermedias entre la Tierra y la Casa

Esta primera alternativa requiere los siguientes cinco pasos principales:

1. Instalación de *dowels* por todo lo largo de la parte inferior de la viga superior,
2. Instalación de *dowels* por toda la altura de las dos columnas adyacentes,
3. Instalación de *dowels* sobre las cimentaciones (zapatas) existentes,
4. Construcción de la zapata para la pared entre los dos zancos o columnas seleccionadas,
5. Construcción de la pared de hormigón armado entre las columnas y viga existente.

### 3.1.1. Instalación de *Dowels* por Todo lo Largo de la Parte Inferior de la Viga Superior

Una vez usted haya seleccionado entre qué dos zancos va a construir la pared nueva el primer paso está en recoger y limpiar toda el área donde se estará trabajando. Puede que haya que desyerbar, pasar un rastrillo de modo que, dentro de lo posible, se haga cómodo trabajar.



## MARTÍNEZ CRUZADO, LÓPEZ RODRÍGUEZ, GONZÁLEZ AVELLANET

---

En segundo lugar usted probablemente deberá construir un andamio para tener fácil acceso a la viga superior sobre la que se estará trabajando. De estar la parte inferior de esa viga empañetada usted deberá remover ese empañetado con martillo y cortafrío u otra herramienta adecuada. El siguiente paso es el de instalar *dowels* en la parte inferior de la viga superior, bajo la cual se construirá la pared nueva. Esta instalación de *dowels* se hace para que las cargas sísmicas puedan ser transferidas adecuadamente entre la viga existente y la pared de carga nueva.

Para la instalación de los *dowels* observe la Figura 8. Prepare una línea recta de agujeros en la parte inferior de la viga, de columna existente a columna existente. El primer *dowel* se colocará a 3 pulgadas de la columna existente. Los agujeros estarán separados entre sí cada 6 pulgadas. Cada agujero será de 5/8” de diámetro y 6 pulgadas de profundidad barrenando en el medio de la parte de abajo de la viga superior. Asegúrese de utilizar gafas de seguridad mientras barrena los agujeros para proteger sus ojos. Inyecte *epoxy* a presión, según las especificaciones del fabricante, dentro de cada agujero barrenado e inmediatamente introduzca una varilla de acero de media (#4) de 2 pies de largo (24”) de modo que quedarán 6 pulgadas introducidas en el hormigón y 18 pulgadas de la varilla van a sobresalir. Sujete la varilla en su lugar por el tiempo necesario hasta que se endurezca el *epoxy*. Repita el procedimiento hasta completar toda la hilera. Asegúrese que se introduce suficiente *epoxy* dentro del agujero de modo que “llore” o salga *epoxy* al exterior cuando se introduzca la varilla de media.

El *epoxy* que se utilice tiene que tener una capacidad mínima en tensión de 4,000 psi, haber sido probado bajo carga cíclica, y asegúrese de que la combinación provista de diámetro, profundidad, separación y distancia a la orilla de los agujeros provee una resistencia última en tensión de por lo menos 16,000 libras. Esto se verifica siguiendo las instrucciones del fabricante del *epoxy*.

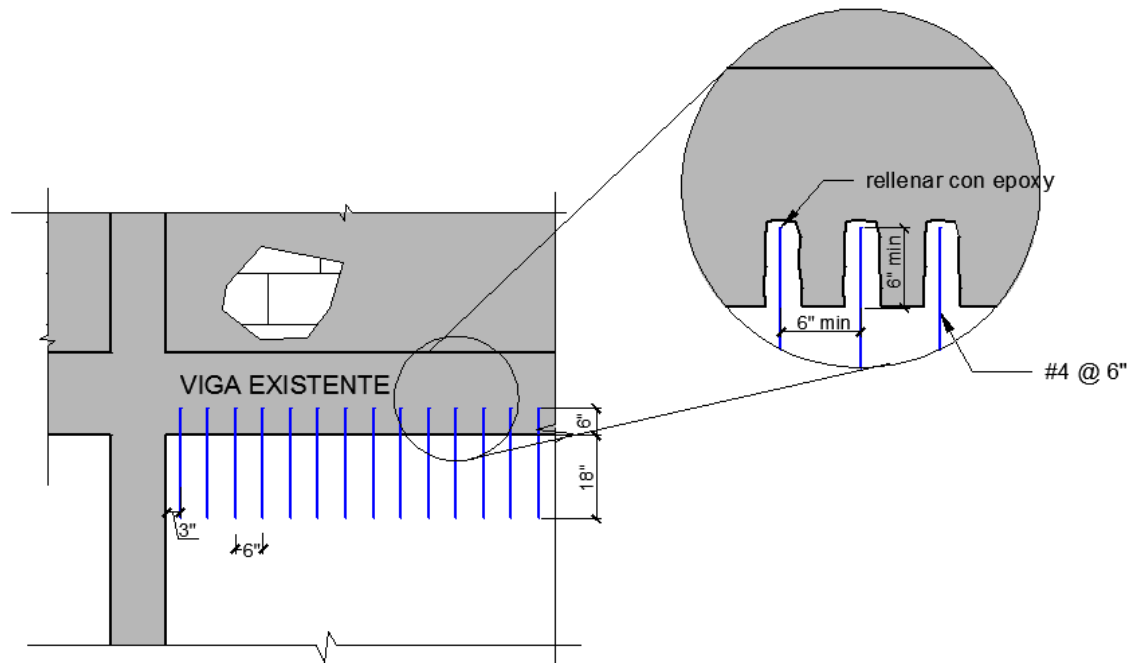


Figura 8. Instalación de Dowels a la Viga Existente

### 3.1.2. Instalación de Dowels por Toda la Altura de las dos Columnas Adyacentes

El siguiente paso es el de instalar *dowels* por toda la altura de las dos columnas existentes entre las cuales se construye la pared nueva. Esta instalación de *dowels* permitirá que las cargas sísmicas puedan ser transferidas adecuadamente entre las dos columnas existentes o zancos y la nueva pared de carga.

Inicialmente usted deberá remover el empañetado, si alguno, del lado de las dos columnas existentes que dan hacia el lado donde se construirá la pared nueva. Para la instalación de los *dowels* observe la Figura 9. Primeramente saque toda la tierra que hay sobre la cimentación de la columna existente hasta que el tope de la cimentación quede expuesto. Prepare una línea recta de agujeros en la parte lateral de cada columna existente a la que se le conectará la nueva pared de carga. Los agujeros se separarán 6 pulgadas entre sí, empezando a 3 pulgadas de cada extremo. Cada agujero horizontal será también de 5/8" de diámetro y 6 pulgadas de profundidad barrenando en la parte central de la columna existente. Inyecte *epoxy*, según las especificaciones del fabricante, a presión dentro de cada agujero barrenado e inmediatamente introduzca una varilla de acero de media (#4) de 2 pies de largo (24") de modo que quedarán 6 pulgadas introducidas en el hormigón y 18 pulgadas de la varilla van a sobresalir. Asegúrese que la varilla queda horizontal haciendo uso de un nivel y sujete la varilla en su lugar hasta que el *epoxy* se endurezca. Asegúrese que al

introducir la varilla de 24 pulgadas de largo el agujero llora (sale *epoxy* hacia afuera del agujero). Repita el procedimiento por toda la altura de ambas columnas existente.

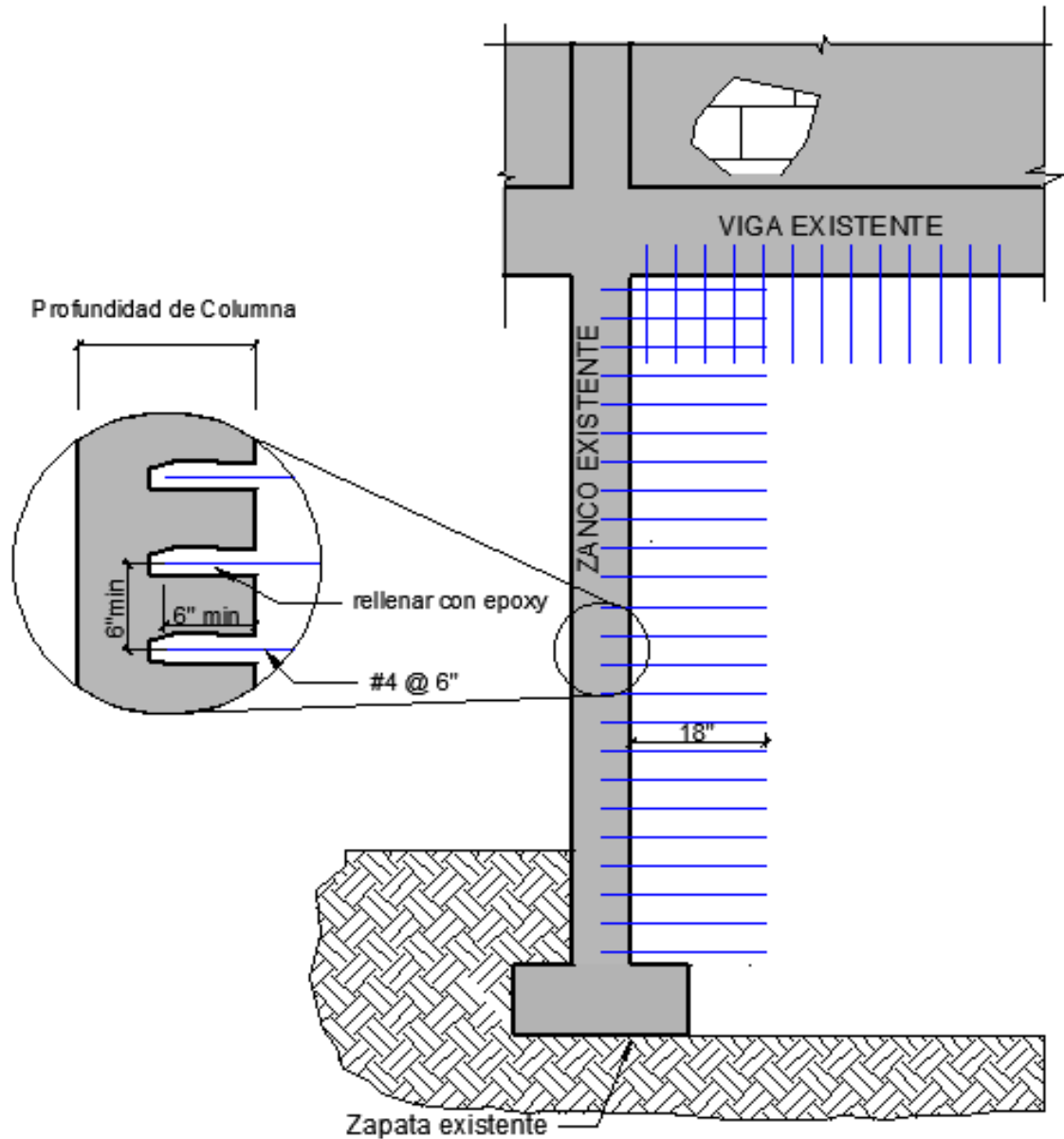


Figura 9. Instalación de Dowels a las Columnas o Zancos Existentes

### 3.1.3. Instalación de *Dowels* sobre las Cimentaciones Existentes

El siguiente paso es continuar instalando *dowels*. En esta ocasión sobre las cimentaciones de las columnas existentes. Ayúdese observando la Figura 10. Para ello lave bien el tope de la cimentación con agua a presión utilizando una manquera. Continúe la línea de *dowels* que vienen bajando por la columna existente por la parte de arriba o tope de la cimentación. El primer *dowel* deberá colocarse a 3 pulgadas de la cara de la columna. Continuará colocando *dowels* sobre la cimentación con una separación de 6 pulgadas entre ellos. No coloque *dowels* más cercano de 3 pulgadas de la orilla de la cimentación. Para cada *dowel* barrene un agujero de 5/8" de diámetro y 6 pulgadas de profundidad como en los casos anteriores. Inyecte el *epoxy* y coloque un pedazo de varilla de media (#4) de 24" de largo de modo que se introduzcan 6 pulgadas en el agujero y sobresalgan los restantes 18 pulgadas. Asegúrese de haber introducido suficiente *epoxy* de modo que al introducir la varilla de 24" de largo sale *epoxy* hacia afuera. Repita el procedimiento por todo el tope de la cimentación pero únicamente del lado en que se construirá la pared nueva.

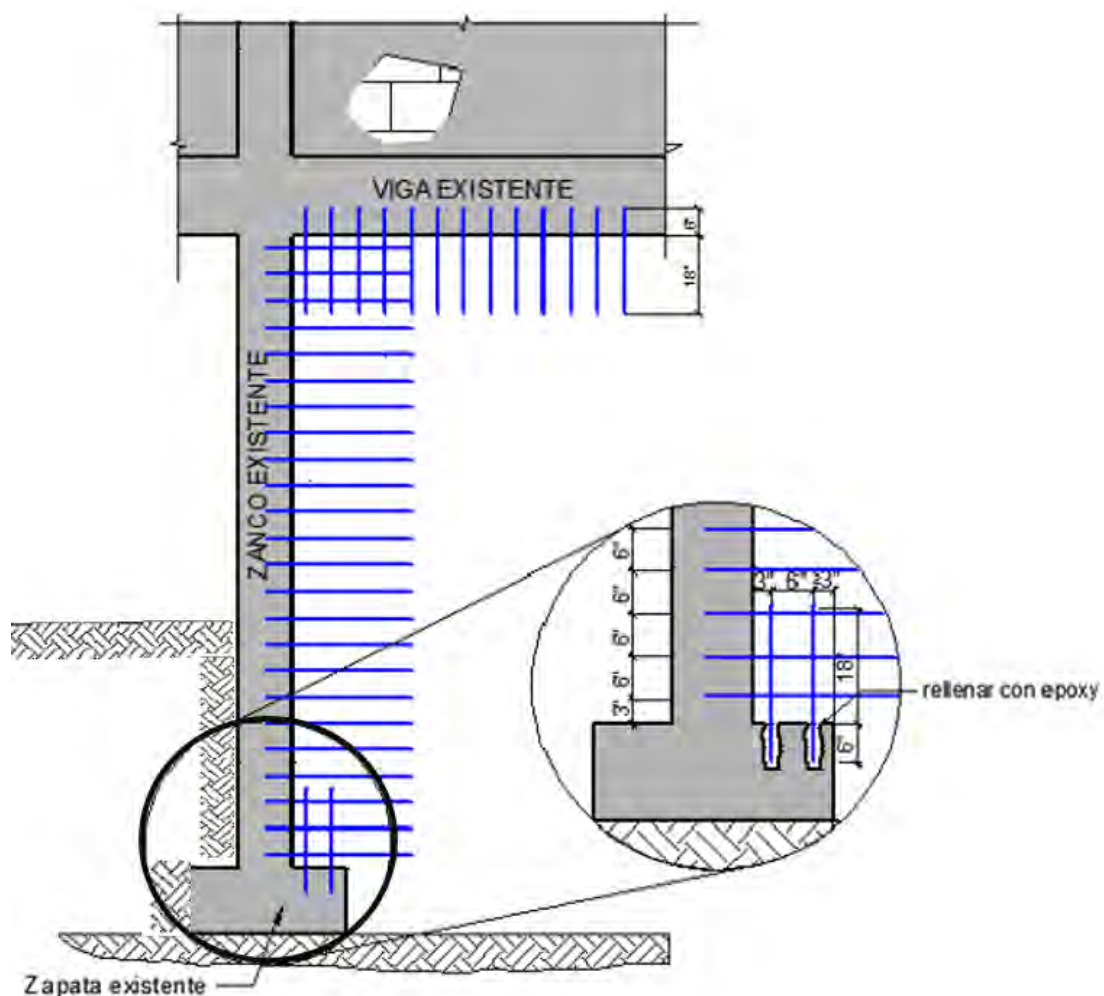
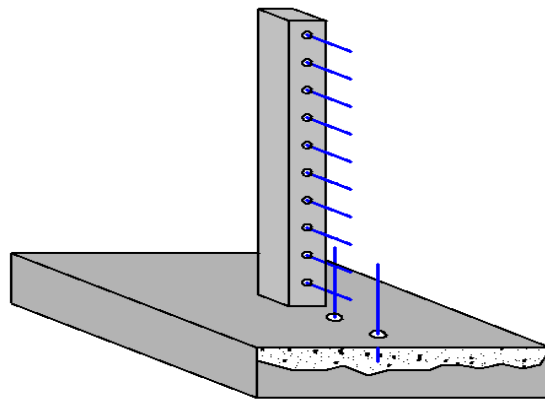


Figura 10A. Instalación de Dowels a la Zapata Existente



*Figura 10B. Instalación de Dowels a la Zapata Existente*

Si resulta que entre el suelo y la viga que soporta directamente la casa hay una viga intermedia, entonces pase primero a la sección 3.1.7 (página 24).

#### **3.1.4. Construcción de la Zapata para la Pared Entre los Dos Zancos o Columnas Seleccionadas**

Prepare una zanja entre los cimientos de los dos zancos en que va a construir la pared utilizando pico, azada, pala de corte y pala de bote de ser necesario. La zanja debe ser tan profunda como lo son los cimientos de los zancos adyacentes o hasta tres pulgadas más profunda, de modo que la cimentación nueva tenga por lo menos 15 pulgadas de espesor. El ancho de la zapata nueva, y por lo tanto de la zanja, será de 54 pulgadas. Ver Figura 12A. Si desea reducir el ancho de la cimentación existe la opción de proveer un gancho estándar en cada extremo de cada varilla transversal, y entonces el ancho de la cimentación sería igual a 32 pulgadas. Ver Figura 12B. Para propósitos de esta guía solo se describirá el caso inicial, el de la Figura 12A.

Si los cimientos de las dos columnas existentes tienen una diferencia en nivel mayor de 12 pulgadas entonces brinque primero a la sección 3.1.6 (página 21), de otro modo siga adelante.

Para poder conectar adecuadamente la zapata nueva para la pared nueva con las zapatas existentes de los zancos usted deberá instalar *dowels* adicionales en las zapatas existentes según se muestra en la Figura 11. Usted debe preparar una cuadrícula de *dowels* separados tanto vertical como horizontalmente 6 pulgadas según se ilustra en la figura. Fíjese que ningún *dowel* debe quedar más cercano de 3 pulgadas con ninguna de las orillas de la zapata. Al igual que en las secciones anteriores se barrenará el hormigón 6 pulgadas de profundidad con una barrena de 5/8". Se introduce la varilla de media (#4) por 24" de largo de modo que penetren 6 pulgadas y



## REHABILITACIÓN SÍSMICA DE CASAS EN ZANCOS

sobresalgan las otras 18 pulgadas. Asegúrese que las 18 pulgadas de varilla que sobresale queda perfectamente horizontal. Si la zapata existente a la que se le instalan los *dowels* tiene una profundidad menor de 12 pulgadas entonces instale una sola hilera de *dowels* a media altura.

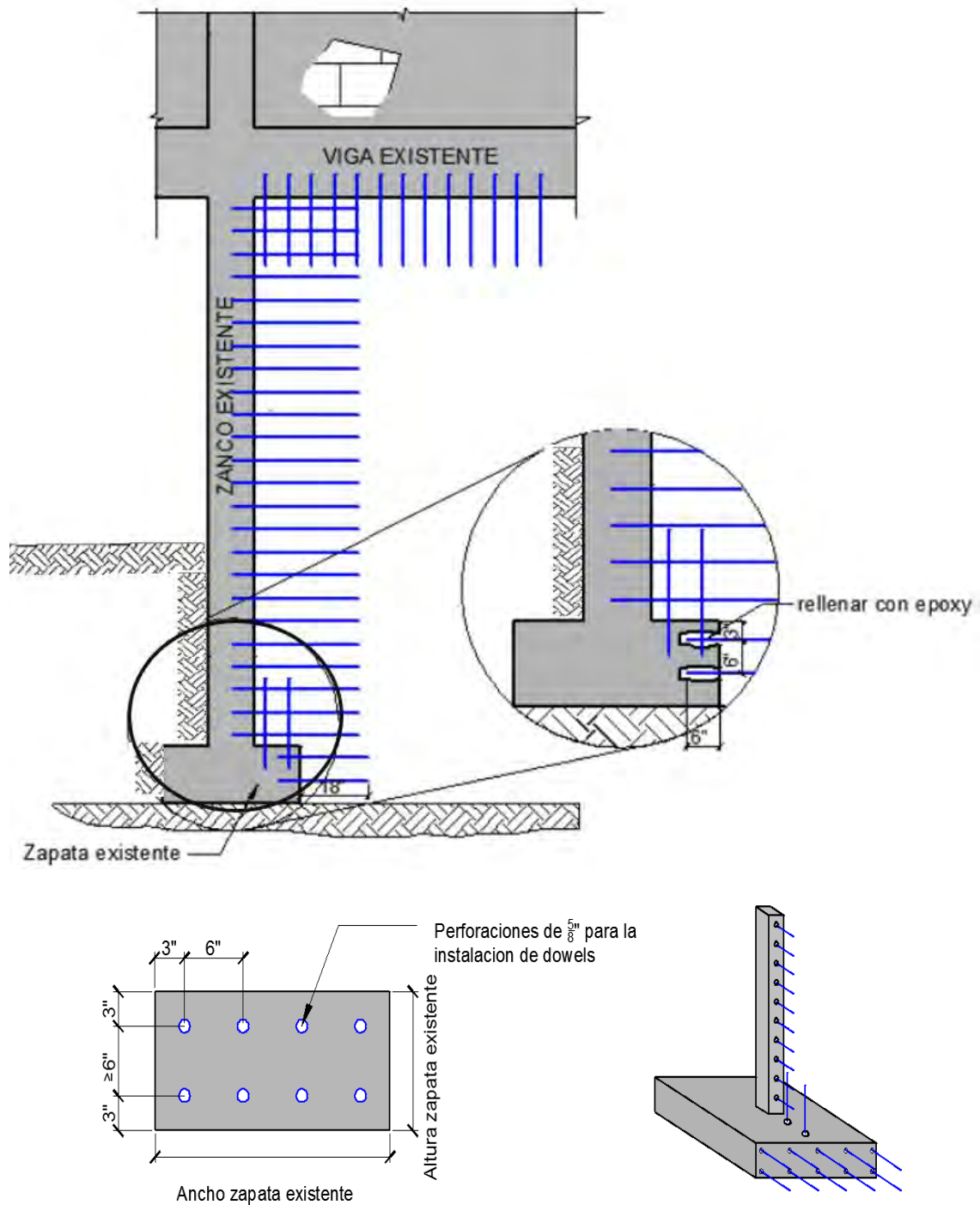


Figura 11. Instalación de Dowels a la Zapata Existente

MARTÍNEZ CRUZADO, LÓPEZ RODRÍGUEZ, GONZÁLEZ AVELLANET

Una vez preparada la zanja de 54 pulgadas de ancho y tan profunda como las cimentaciones existentes o por lo menos de 15 pulgadas de altura, y una vez colocados los *dowels*, usted entonces colocará el acero para la zapata. Para ello observe nuevamente la Figura 12A.

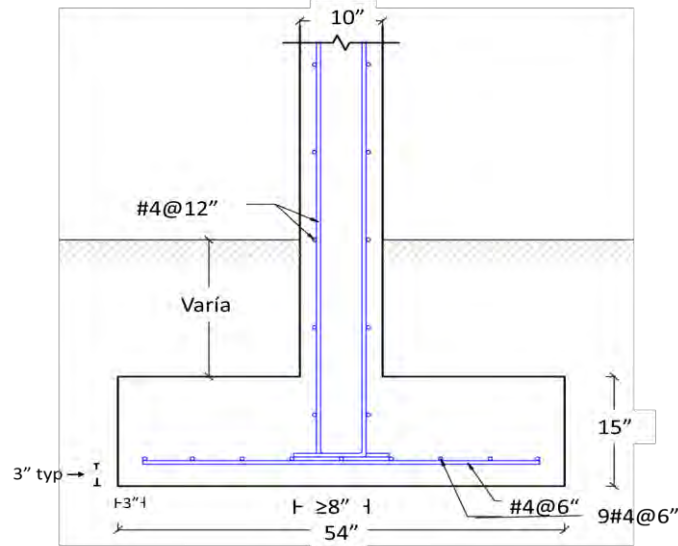


Figura 12A. Sección de Zapata, con varillas rectas, para la Pared Nueva

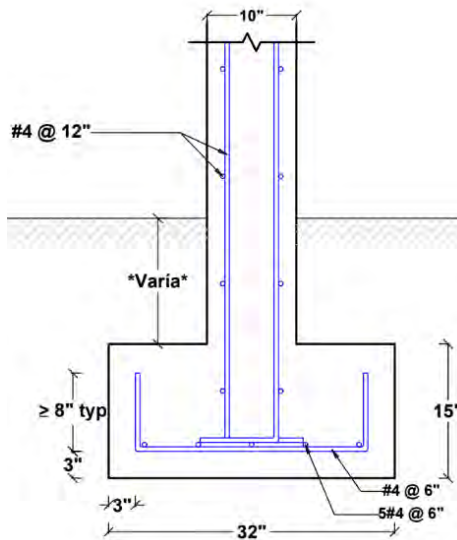


Figura 12B. Sección de Zapata, con varillas con ganchos, para la Pared Nueva

Inicialmente coloque 9 varillas de media (4/8") a lo largo de la zanja, desde una zapata existente hasta la otra, separadas 6 pulgadas entre sí (#4@6). Coloque entonces las varillas transversales, las cuales serán de media pulgada de diámetro y 48 pulgadas de largo, de manera que deje 3 pulgadas de separación entre cada punta de la varilla y la pared de tierra de la zapata. Estas varillas también se separarán entre sí 6 pulgadas (#4@6). Amarre estas varillas con alambre



dulce y una ganzúa a las varillas longitudinales #4. Una vez lista la rejilla ésta ha de voltearse de modo que la varilla longitudinal quede por encima de la transversal, la cual deberá quedar levantada 3 pulgadas del suelo ya sea colocándole los asientos o *limbers* correspondientes.

El siguiente paso es el de colocar las varillas verticales para la pared nueva. Para ello observe otra vez la Figura 12A. **Se colocarán dos cortinas de varilla con #4@12 tanto vertical como horizontal**. Las dos cortinas de varillas verticales deberán estar separadas 6 pulgadas entre sí (a 3 pulgadas del centro de la pared nueva) o lo suficientemente separadas para asegurarse de que en caso de que haya una viga intermedia esta quede arropada. Por lo pronto solo necesita colocar las varillas verticales y la primera varilla horizontal que quedará introducida dentro de la cimentación. Note que a cada varilla vertical se le tiene que proveer un gancho de 90° con una extensión de 8 pulgadas de largo, con el doblez hacia el interior de la pared, y amarrarlas con alambre dulce a las varillas de la cimentación. Note además que estas varillas verticales llegarán hasta la parte inferior de la viga superior pero **no se amarran a los dowels** que se instalaron en la parte inferior de la viga ya que no quedarán en el mismo plano.

Una vez colocado todo el varillaje se puede preparar y vaciar la mezcla de hormigón, según el diseño de mezcla que se presenta en la sección 4 (página 36). Recuerde **siempre** utilizar un vibrador eléctrico para asegurarse que el hormigón quede bien compactado y no queden burbujas de aire ni cucarachas las cuales le restan una enorme resistencia a la pared. Sería una gran pena que después de que usted haya invertido tanto dinero, tiempo y dedicación en rehabilitar su casa se eche el trabajo a perder por economizarse un poco de dinero no alquilando un vibrador. No se arriesgue, vibre bien el hormigón. Pregunte en la ferretería más cercana por los servicios de vibrar el hormigón.

La Tabla #1 le indica las yardas de hormigón que necesita para la zapata dependiendo de la separación entre los bordes de las dos cimentaciones o zapatas existentes.

**Tabla #1.** *Volumen de Hormigón Necesario para la Zapata Nueva*

Separación Clara (Libre) entre las Cimentaciones Existentes (pies)	Volumen de Hormigón (yds <sup>3</sup> ) para Zapata Nueva
8	1.67
10	2.08
12	2.50
14	2.92
16	3.33
18	3.75
20	4.17

### 3.1.5. Construcción de la Pared de Hormigón Armado Entre las Columnas y Viga Existente

Una vez usted haya vaciado y vibrado todo el hormigón que era requerido en la zapata debe esperar unas 18 horas para continuar trabajando en la construcción de la pared. A las dos cortinas de varillas verticales, que ya están en su sitio, usted deberá amarrarles, con alambre dulce, las varillas horizontales #4@12" según se ilustra en la Figura 12A.

La Figura 13 muestra una elevación de la parte posterior de la residencia ya con todo el varillaje en su sitio para la pared nueva. El próximo paso será el de colocarle la formaleta o moldes de madera.

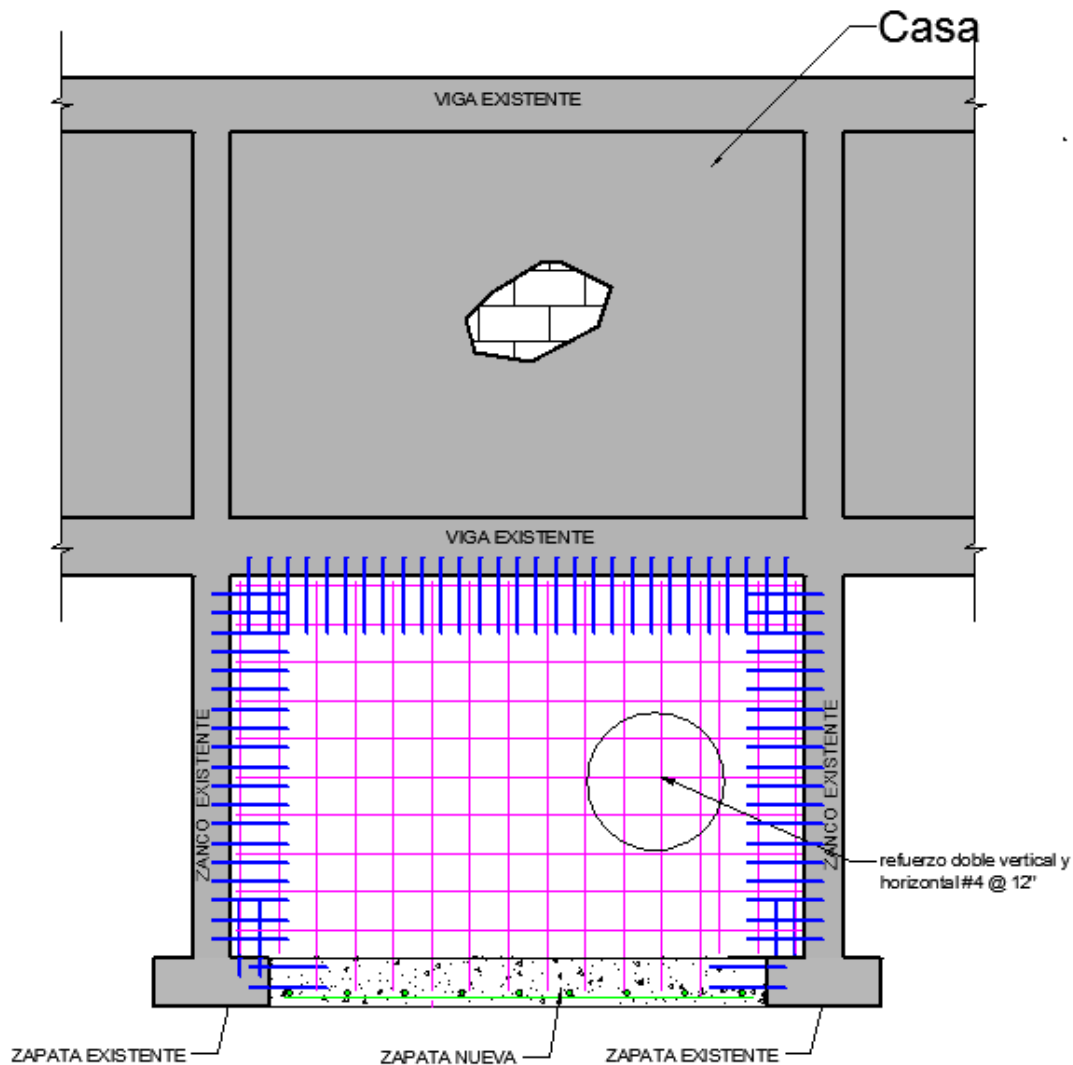


Figura 13. Elevación Parte Posterior Residencia Mostrando el Varillaje

REHABILITACIÓN SÍSMICA DE CASAS EN ZANCOS

Estos moldes estarán internamente separados por 10 pulgadas o lo determinado en la sección 3.1.7, en caso de que aplique, y serán paneles de *plywood* (*contrachapado*) de  $\frac{3}{4}$ " de espesor. A estos paneles se los clavarán piezas de 2" x 4" por toda la periferia y se formará una cuadrícula de 24 pulgadas por 24 pulgadas de *ties* (*tirantes*) de 10 pulgadas (o el espesor determinado de la pared), los cuales se colocarán con sus respectivas cuñas. Vea la Figura 14. Asegúrese de instalar suficientes pies de amigo para impedir que los moldes de *plywood* se abran al momento de vaciar el hormigón. La Tabla #2 indica el volumen de hormigón necesario por cada 4 pies de altura de la pared según la separación clara entre las columnas existentes. Se usan 4 pies de altura pues ese es el ancho de un panel de *plywood*.

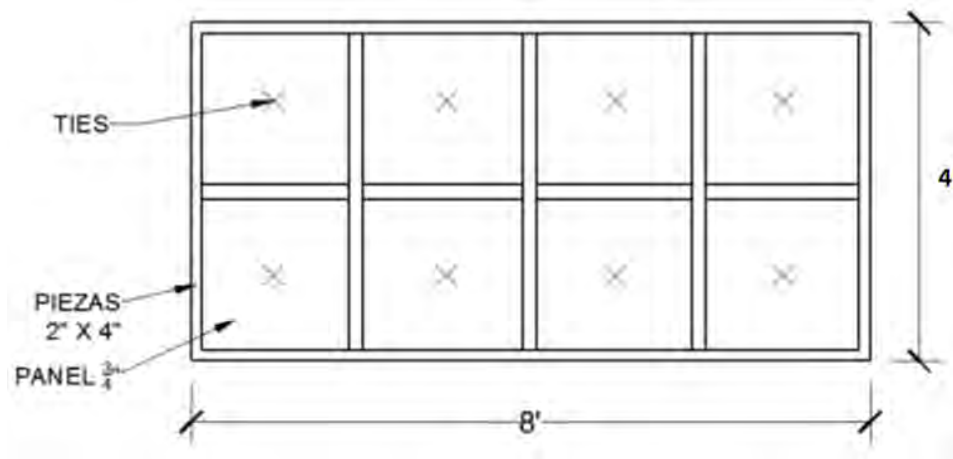


Figura 14. Panel de Plywood

Tabla #2. Volumen de Hormigón Necesario por cada 4 pies de Altura de la Pared Nueva

Separación Clara (Libre) entre Columnas Existentes (pies)	Volumen de Hormigón (yds <sup>3</sup> )
8	1.00
10	1.25
12	1.50
14	1.75
16	2.00
18	2.25
20	2.50



Una vez usted vacíe y vibre el hormigón para un segmento de 4 pies de altura, espere unas 18 horas para continuar la construcción de los siguientes 4 pies hasta que alcance el nivel de la casa. Asegúrese que la superficie del hormigón existente esté limpia antes de vaciar el hormigón nuevo. Para mejor contacto pinte la superficie donde se vaciará el hormigón con *epoxy*. Note que el *epoxy* para superficies es diferente al *epoxy* para los agujeros, consulte con el fabricante de los *epoxies*. ***Al instalar los plywood para el último tramo, el más alto, asegúrese que el hormigón vaciado hace contacto directo con la parte inferior de la viga existente. De no ser posible espere entre 2 y 3 horas a que el hormigón vaciado se haya endurecido y rellene la parte que falta inyectando “grout” de alta resistencia siguiendo las instrucciones del fabricante. No rellene con pedazos de bloques, piedras u otro material entre la pared que se construye y la viga existente pues así no se puede transferir las cargas del terremoto desde la casa a la pared nueva.***

Una vez haya finalizado este último tramo y esperado 18 horas podrá remover los moldes. Es necesario que cure la pared humedeciéndola diariamente con agua por los siguientes 7 días para asegurarse de que el hormigón continúe adquiriendo mayor resistencia. Para ello se sugiere el uso de un par de surtidores de agua, uno por cada lado de la pared. Posteriormente podrá empañetar y pintar la pared, tareas que son opcionales.

Una vez finalizada la construcción de las 3 ó 4 paredes en los tramos seleccionados, según sea su caso en particular, usted sentirá muchos menos sismos de los que sentía en el pasado y, más importante aún, su casa tendrá una oportunidad inmensa de sobrevivir el próximo gran terremoto que nos espera, por lo que su residencia deberá adquirir mucho más valor en el mercado.

### 3.1.6. ¿Qué Pasa si las Zapatas de las Dos Columnas Existentes no Están al Mismo Nivel?

En estos casos se sugiere que al construir la zapata usted prepare un escalón a media distancia entre las dos columnas existentes según se muestra en la Figura 15. Fíjese en el detalle que presenta la Figura 16 donde se muestra que la zapata continuará teniendo 15 pulgadas de espesor (y 54 pulgadas de ancho). Usted colocará 9 varillas longitudinales de media (4/8”) separadas a 6 pulgadas entre sí (#4@6) y a 3½ pulgadas sobre el suelo. Note cómo estas varillas #4 se doblarán ambas hacia arriba formando ángulos de 90° (varillas de color verde en la Figura 16). Por debajo de estas varillas #4 colocará las varillas transversales #4@6” de 48 pulgadas de largo y las amarrará a las varillas longitudinales #4.

Coloque entonces 9 varillas longitudinales de media separadas 6 pulgadas entre sí (#4@6) y a 12 pulgadas sobre el suelo. Doble estas varillas con un ángulo de 90° hacia abajo según se muestra en la Figura 16 con varillas de color púrpura o magenta. Como próximo paso coloque un total de 18 varillas de media en forma de  $\sqcap$  (9 arriba y 9 abajo, de color azul) según se muestra en la Figura 16 y amárrelas a las varillas longitudinales.

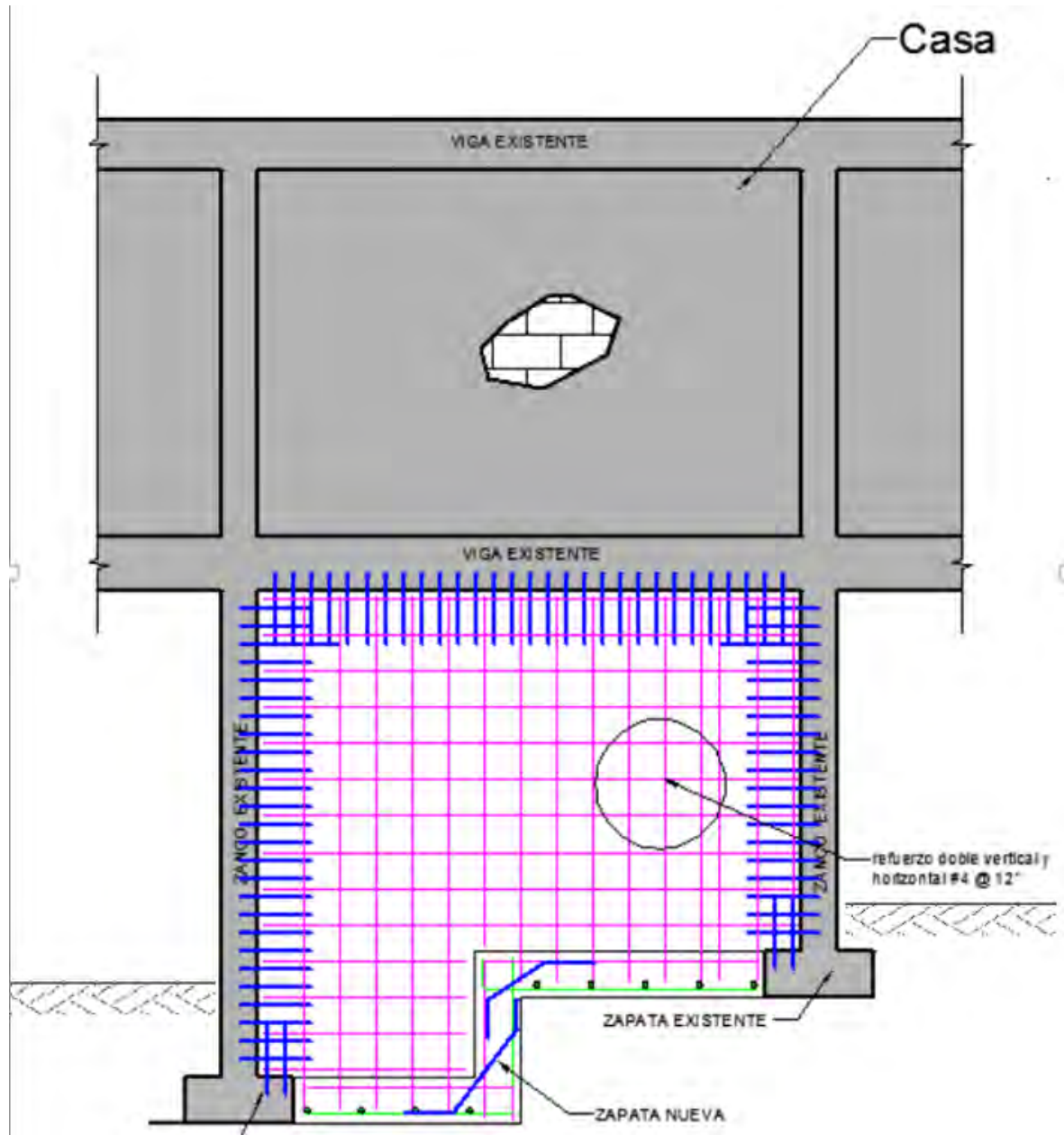


Figura 15. Nueva Zapata Escalonada

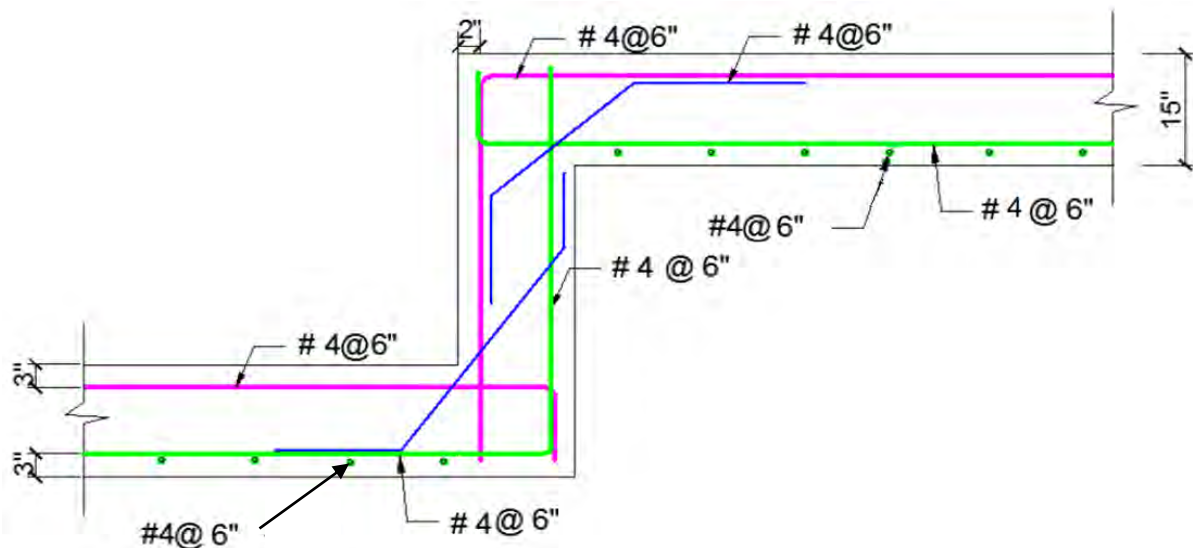


Figura 16. Detalle de la Nueva Zapata Escalonada

El próximo paso es el de colocar la varilla vertical de las dos cortinas que han de instalarse. Las dos cortinas estarán separadas 6 pulgadas entre sí (a 3 pulgadas del centro de la zapata). Cada cortina tendrá varillas #4@12" tanto vertical como horizontal. Por el momento solo se instalarán las varillas verticales y la primera varilla horizontal que quedará incrustada dentro de la zapata. Recuerde que la varilla vertical deberá tener un gancho de 90° con una extensión de 8 pulgadas para ser amarrado a las varillas de la cimentación. Esta varilla vertical deberá también llegar a la viga que soporta la casa y a la cual se le instalaron *dowels* por la parte inferior. No amarre las varillas verticales a los *dowels* ya que no quedarán en el mismo plano.

Para este tipo de cimentación es preferible vaciar el hormigón en dos días diferentes. Una vez esté todo el acero en su lugar prepare la mezcla de hormigón, según la sección 4, y vacíe la misma en la cimentación de abajo. Víbrela. Espere 18 horas para que se endurezca para entonces instalar un molde vertical de *plywood* para poder colocar el hormigón en la parte vertical de la cimentación. Asegúrese de que ese molde no se saldrá de sitio al vaciar el hormigón. Mezcle hormigón y llene tanto la parte vertical de la cimentación como la parte horizontal superior.

Una vez vaciado todo el hormigón pase a la sección 3.1.5 para construir la pared.



### 3.1.7. ¿Qué Pasa si hay una Viga Intermedia Entre el Suelo y la Viga que Soporta la Casa?

Fíjese en la Figura 17 donde los zancos tienen las cimentaciones al mismo nivel pero existe una viga a media altura. Para estos casos usted deberá:

1. Colocar *dowels* tal y como se ha explicado en las secciones anteriores, por las 4 orillas de lo que vendrá a ser la pared nueva. Es decir;
  1. por la parte inferior de la viga que soporta la casa,
  2. por toda la altura de la dos columnas adyacentes existentes y,
  3. tanto por la parte superior e inferior de la viga intermedia pero en esta ocasión los *dowels* deben estar separados 12 pulgadas, según se ilustra en la Figura 18.
2. Asegúrese de que la pared nueva tendrá un ancho de por lo menos 4 pulgadas adicionales a la viga que está a media altura ya que habrá que cubrirla completa con la nueva pared. Si el ancho de la viga intermedia es de 6 pulgadas o menos usted debe mantener el espesor de 10 pulgadas de la pared. Sin embargo, si el ancho de esta viga es de 8 pulgadas entonces deberá construir la pared nueva de 12 pulgadas de ancho.
3. Note que la separación clara (libre) entre las dos cortinas de varilla vertical que vendrán de la fundación deberá, por lo menos, ser igual al ancho de la viga que se va a arropar para asegurarse que se la pasa por el lado a la viga. Esta varilla vertical deberá llegar a la viga que soporta directamente la casa, de no ser así deberá, posteriormente, realizar un empalme (o solape) de 24 pulgadas de largo para cada varilla.

Al completar esta sección la zona de trabajo debe lucir como se muestra en la Figura 18. Pase ahora a la sección 3.1.5 (página 19).

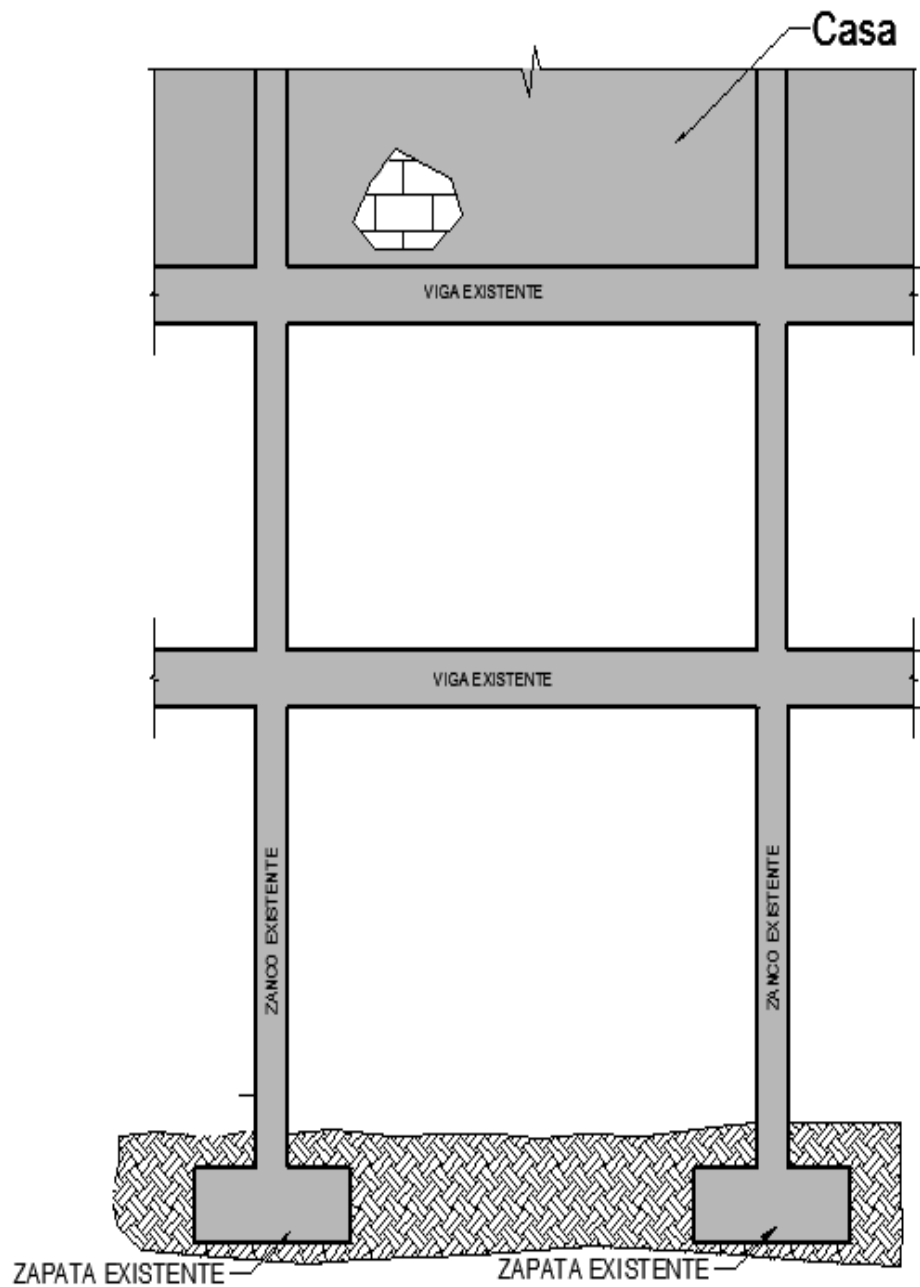


Figura 17. Cimentaciones al Mismo Nivel con una Viga a Media Altura

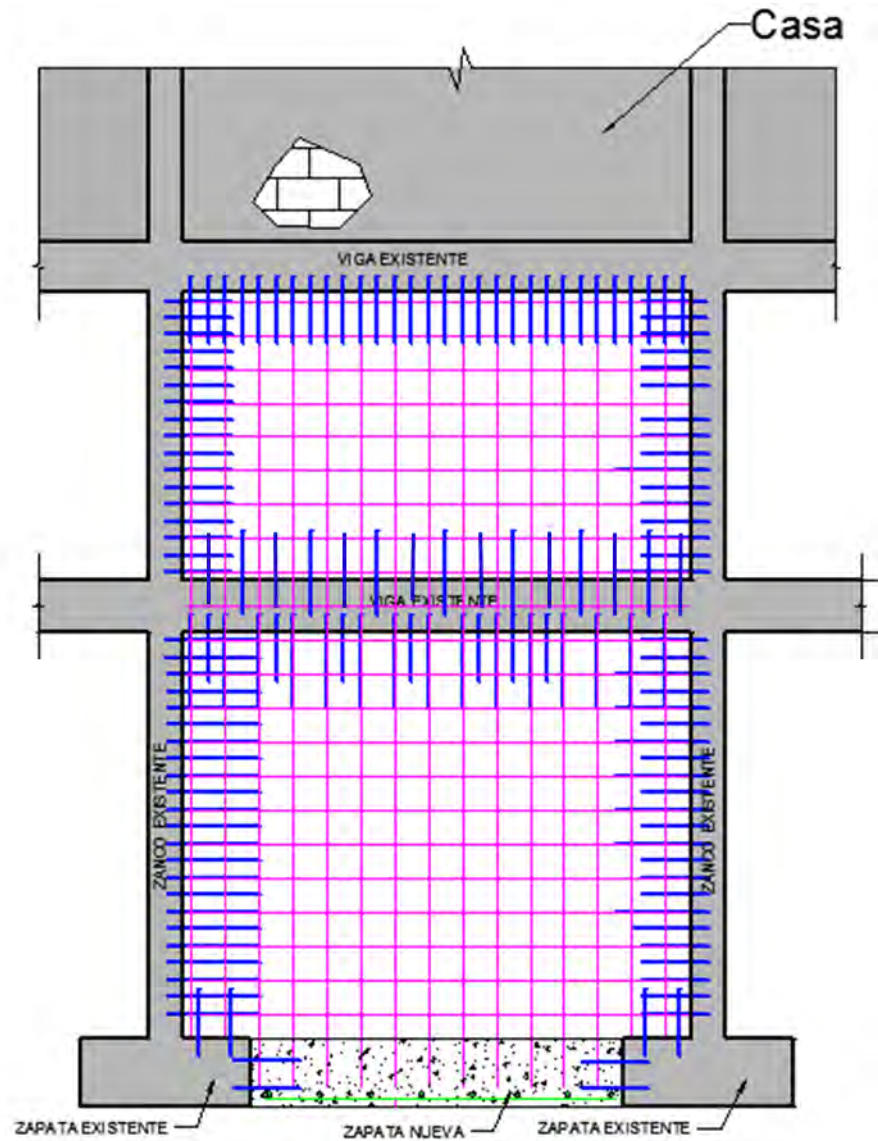


Figura 18. Instalación de Dowels y Refuerzo Vertical / Horizontal con una Viga a Media Altura

### 3.2. Alternativa #2: Construcción de Paredes de Hormigón Armado ABRAZANDO las Columnas Existentes

La segunda alternativa de rehabilitación es la construcción de paredes de hormigón armado en los tramos seleccionados abrazando las columnas adyacentes existentes. Esta alternativa es obligada cuando el ancho de las columnas a las que se conectará la pared nueva es menor de 10 pulgadas. Sin embargo, puede ser utilizada para cualquier ancho de las columnas existentes. Las paredes de hormigón armado aumentan significativamente la rigidez

y resistencia a terremotos de la estructura. Cada pared que se va a construir con esta alternativa requiere de cinco pasos principales:

1. Determinar el ancho o espesor de la pared que se va a construir.
2. Determinar tanto la varilla vertical como horizontal que se le colocará como doble cortina a la pared.
3. Instalación de *dowels* a la parte inferior de la viga superior.
4. Construcción de la zapata para la pared entre los dos zancos o columnas seleccionadas, y
5. Construcción de la pared de hormigón armado abrazando columnas y vigas existentes

### 3.2.1. Determinar Ancho o Espesor de la Pared que se Va a Construir

El ancho de la pared queda controlado por el ancho de las columnas adyacentes existentes. Las columnas existentes quedarán incrustadas dentro de la pared nueva. El ancho de la pared tiene que extenderse por lo menos 4 pulgadas a cada lado de la columna, de manera que el ancho de la pared será 8 pulgadas más ancho que el de la columna existente. Ver Figuras 19 y 20. Por ejemplo, en la Figura 19 se observa una columna existente de 6" x 18" la cual, al ser incrustada dentro de la pared nueva, requiere una pared de 14 pulgadas de ancho. Como un segundo ejemplo se puede ver cómo en la Figura 20 una columna existente de 12" x 12" requiere una pared nueva de 20 pulgadas de ancho.

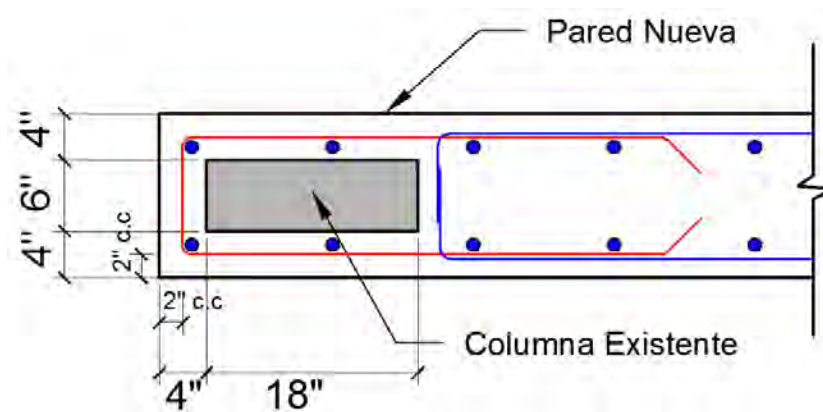


Figura 19. Pared Nueva Abrazando Columna Existente de 18" x 6"

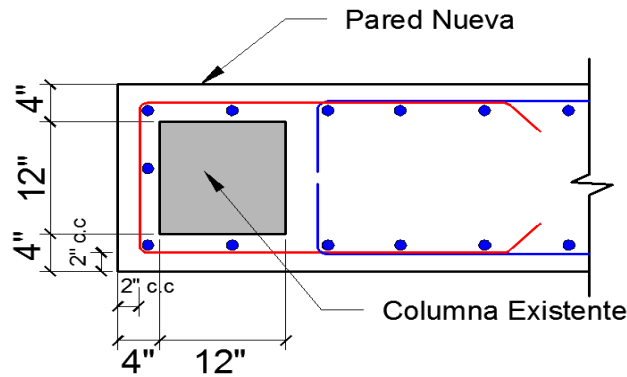


Figura 20. Pared Nueva Abrazando Columna Existente de 12” x 12”

### 3.2.2. Determinar Tanto la Varilla Vertical Como Horizontal que se le Colocará Como Doble Cortina en la Pared

La Tabla #3 muestra el tamaño y el espaciado de las varillas de acero que se requiere en ambas direcciones, horizontal y vertical, según el espesor de la pared. Cada pared **TIENE** que tener doble cortina de acero.

Tabla #3. Requisitos de Acero de Refuerzo para cada Cortina y Diferentes Espesores de Pared

Espesor de la Pared (pulg.)	Tamaño de Varilla	Espaciado (pulg.)
14	# 4	10
16	# 4	10
18	# 4	8
20	# 4	6
22	# 4	6
24	# 4	6
25	# 4	6
26	# 4	6

### 3.2.3. Instalación de Dowels en la Parte Inferior de la Viga Superior

Una vez usted haya seleccionado entre qué dos zancos va a construir la pared el primer paso está en limpiar toda el área donde se estará trabajando. Puede que haya que desyerbar, pasar un rastrillo de modo que, dentro de lo posible se haga cómodo trabajar.

En segundo lugar usted deberá instalar *dowels* en la parte inferior de la viga superior, bajo la cual se construirá la pared nueva. Esta instalación de *dowels* se hace para que las cargas sísmicas puedan ser transferidas adecuadamente entre la casa y la pared de carga nueva. Es muy probable que primero tenga que construir un andamio para poder alcanzar la viga superior. Además, de estar empañetada la parte debajo de la viga deberá remover dicho empañetado.

Para la instalación de los *dowels* observe la Figura 21. Prepare una línea recta de agujeros, de columna a columna, de 5/8" de diámetro y 6 pulgadas de profundidad barrenando en el medio de la parte de abajo de la viga superior. La línea de agujeros comenzará a 3 pulgadas de una de las columnas adyacentes y se separará 6 pulgadas entre ellos. Inyecte *epoxy* para anclaje (según especificado por el fabricante) a presión dentro de un agujero barrenado e inmediatamente introduzca una varilla de acero de media (#4) de 2 pies de largo (24") de modo que quedarán 6 pulgadas introducidas en el hormigón y 18 pulgadas de la varilla van a sobresalir. Sujete la varilla en su lugar hasta que se endurezca el *epoxy*. Repita el procedimiento en cada uno de los agujeros.

El *epoxy* que se utilice tiene que tener una capacidad mínima en tensión de 4,000 psi, haber sido probado bajo carga cíclica, y asegúrese de que la combinación provista de diámetro, profundidad, separación y distancia a la orilla de los agujeros provee una resistencia última en tensión de por lo menos 16,000 libras.

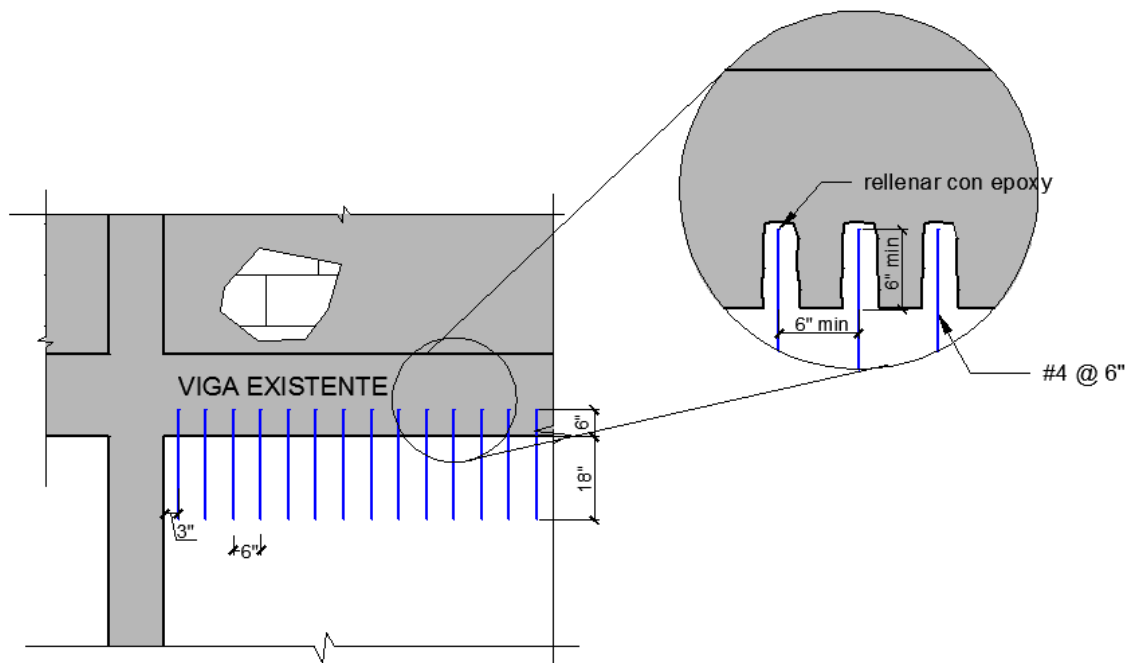


Figura 21. Instalación de Dowels en Viga Existente

En caso de haber una viga existente a media altura instálele *dowels* tanto por la parte de arriba como por la parte de debajo de la viga, según aquí se ha descrito, con la excepción de que



la separación de los *dowels* será de 12 pulgadas en lugar de 6 pulgadas, según se muestra en la Figura 18.

### 3.2.4. Construcción de la Zapata para la Pared de Hormigón Armado

En primer lugar saque la tierra que hay encima de las zapatas de las columnas existentes que la pared nueva va a abrazar. Prepare una zanja entre los dos zancos en que va a construir la pared utilizando pico, azada, pala de corte y pala de bote. La zanja debe ser por lo menos tan profunda como lo son los cimientos de los zancos adyacentes o de 15 pulgadas. El ancho de la cimentación será igual al espesor de la pared que va a construir más 44 pulgadas. De modo que si la pared que usted va a construir es de 14 pulgadas de ancho entonces el ancho de la zapata tiene que ser de 58 pulgadas (14 + 44). Ver Figura 23A. Si desea reducir el ancho de la cimentación existe la opción de proveer un gancho estándar, con una extensión de por lo menos 8 pulgadas de largo, en cada extremo de cada varilla transversal, y entonces el ancho de la cimentación sería igual al ancho de la pared más 22 pulgadas. Ver Figura 23B. Para propósitos de esta guía solo se describirá el primer caso, el de la Figura 23A.

En segundo lugar, para poder conectar adecuadamente la zapata nueva con las zapatas existentes de los zancos usted deberá instalar *dowels* en las zapatas existentes según se muestra en la Figura 22. Prepare una cuadrícula de *dowels* separados verticalmente por lo menos 6 pulgadas y horizontalmente cada 6 pulgadas según se ilustra. Fíjese que ningún *dowel* debe quedar más cercano de 3 pulgadas con las orillas de la zapata. Los *dowels* se instalarán en la zapata existente según explicado en la sección anterior (3.2.3). Si la zapata existente a la que se le instalará los *dowels* tiene una profundidad menor de 12 pulgadas entonces instale una sola hilera de *dowels* a media altura.

Tercero, la Figura 23A muestra una sección de la zapata que usted está construyendo. Fíjese que una vez preparada la zanja y colocados los *dowels* en las zapatas existentes entonces se colocará el acero para la zapata. Inicialmente coloque tantas varillas longitudinales de media (4/8") como le quepan desde una zapata existente hasta la otra separadas entre sí por 6 pulgadas (#4@6). Coloque entonces las varillas de media transversales sobre las longitudinales separadas entre sí 6 pulgadas (#4@6). Estas varillas de media deberán ser de un largo de 6 pulgadas menor que el ancho de la zapata. Por ejemplo, si la zapata que usted construye es de 58 pulgadas de ancho entonces la varilla de media será de 52 pulgadas de largo. De esta manera usted le deja 3 pulgadas de separación con la orilla de la zapata a cada lado. Una vez amarrada toda la rejilla de varillas de acero voltéela de forma que la varilla transversal quede por debajo de la varilla longitudinal. Asegúrese que la varilla transversal queda levantada 3 pulgadas del suelo.

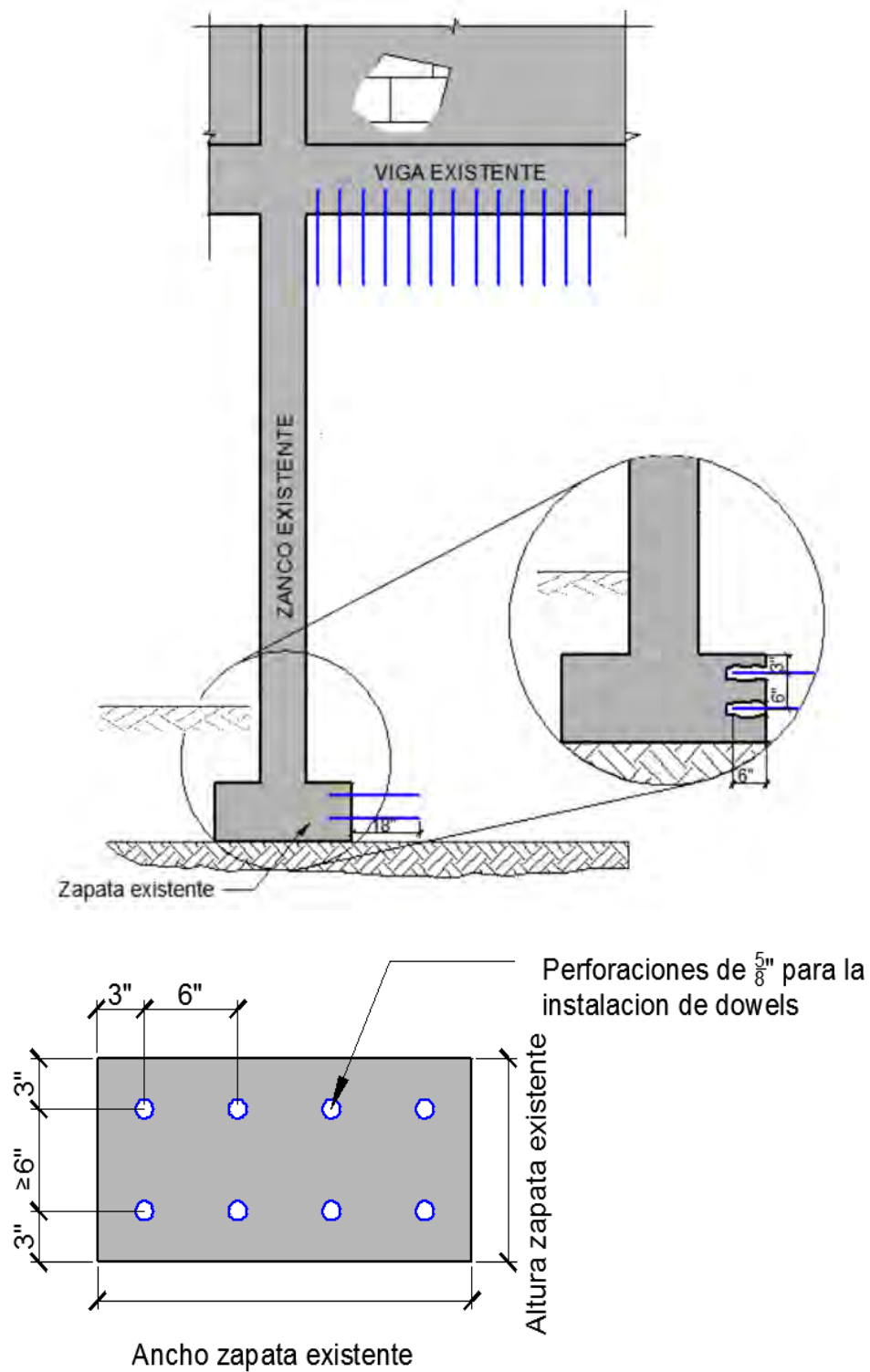


Figura 22. Instalación de Dowels a la Zapata Existente

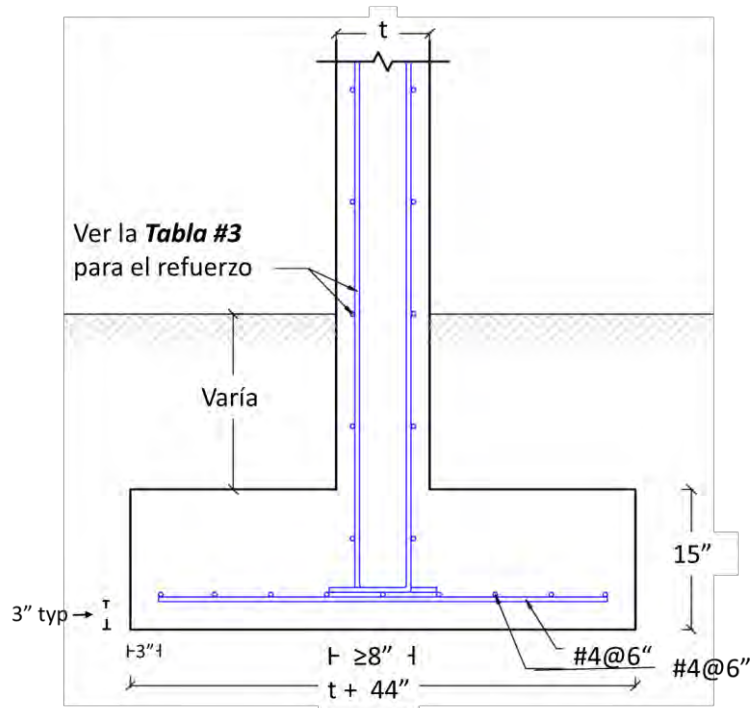


Figura 23A. Sección de Zapata Nueva con varillas rectas

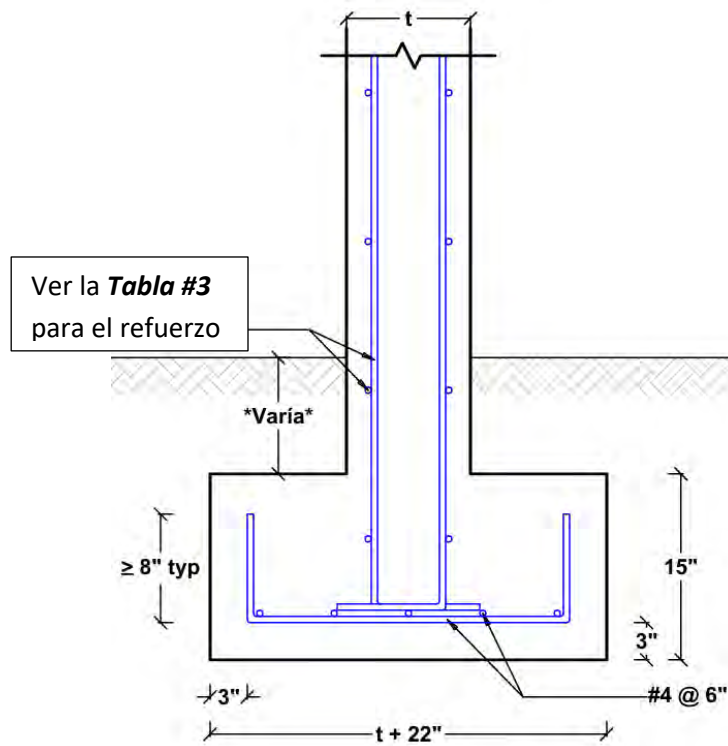


Figura 23B. Sección de Zapata Nueva con varillas con ganchos

El cuarto paso es el de colocar las varillas verticales para la pared nueva. Recuerde que ésta alternativa que usted ha seleccionado también requiere dos cortinas de varillas tanto verticales como horizontales. Todas las varillas de la pared son de media (#4) con una separación entre ellas según se determina en la Tabla #3 (página 28). Las varillas verticales se colocarán de modo que quede recubiertas con hormigón por lo menos dos pulgadas y media ( $2\frac{1}{2}$ " de la orilla exterior. A cada varilla vertical se le tiene que proveer un gancho de 90 grados de por lo menos 8 pulgadas de largo (observe la Figura 23A) el cual debe ser doblado hacia el interior de la pared.

Quinto, una vez colocado todo el varillaje vertical y la primera varilla horizontal por la parte de afuera para la pared nueva, se puede preparar y vaciar la mezcla de hormigón en la zapata, según el diseño de mezcla que se presenta en la Sección 4 (página 36). Asegúrese de vibrar el hormigón con un vibrador de motor, de no hacerlo le quedarán burbujas de aire que debilitarán sustancialmente la cimentación. No permita que después de haber invertido tanto dinero, esfuerzo y dedicación en rehabilitar su casa se eche todo a perder por economizarse un poco de dinero no utilizando un vibrador de motor.

Algunas personas podrán indicarle que no es bueno vibrar en exceso el hormigón porque los materiales se segregan hundiéndose la piedra y subiendo el agua. Aunque la segregación sí puede ocurrir con exceso de vibración es mucho mejor vibrar demás que no vibrar el hormigón. Pregunte en la ferretería más cercana por los servicios de vibrar el hormigón.

### 3.2.5. Construcción de la Pared de Hormigón Armado Abrazando Columnas y Vigas Existentes

Una vez haya vaciado todo el hormigón que era requerido en la zapata debe esperar por lo menos 18 horas para continuar trabajando en la construcción de la pared.

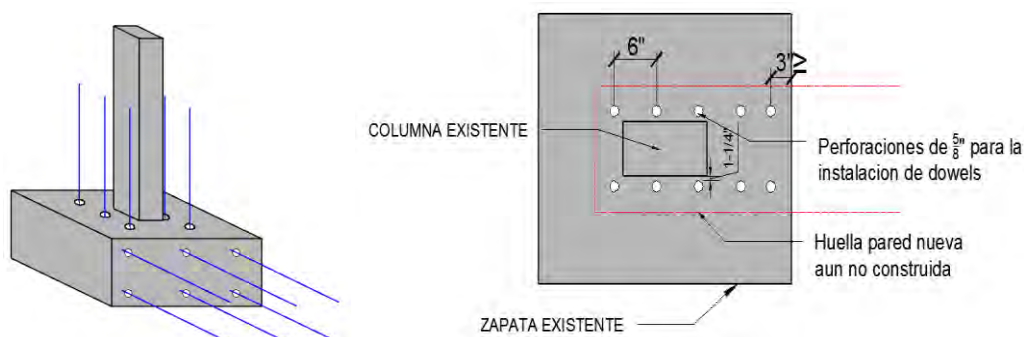


Figura 24. Instalación de Dowels en la Zapata Existente



Instale *dowels* verticales sobre los cimientos de las columnas existentes a las que va a abrazar. Para estos *dowels* también se utilizarán varillas de media de 24 pulgadas de largo. Las perforaciones sobre el cimiento se harán de 6 pulgadas de profundidad según se muestra en la Figura 24, de modo que estarán a 1¼” separados de la columna existente y a 6 pulgadas de separación entre sí. Una vez finalizada las perforaciones asegúrese de remover todo el polvorín de los agujeros e inyecte el *epoxy* de anclaje e introduzca la varilla de media de 24 pulgadas de largo en la perforación. Asegúrese de que sale *epoxy* a la superficie al introducir la varilla en la perforación. Repita esta operación en cada una de las perforaciones.

Amarre entonces las varillas horizontales a las varillas verticales de la pared. Estas varillas horizontales deberán estar espaciadas verticalmente según se establece en la Tabla #3 y se amarrarán por la parte de afuera de las varillas verticales según se muestra en la Figura 23. Amarre entonces las varillas verticales que han de rodear ambas columnas existentes a los *dowels* instalados sobre el cimiento y a las varillas horizontales de la pared nueva. Entonces amarre varillas horizontales dobladas en forma de U para abrazar las columnas existentes. Asegúrese de doblar 45 grados hacia el interior las 3 pulgadas de los extremos de estas varillas. Observe la Figura 19.

La Figura 25 muestra una elevación de la parte posterior de la residencia ya con todo el varillaje para la pared nueva lista para colocarle la formaleta o moldes de madera. Estos moldes serán paneles de *plywood* de ¾” de espesor. A estos paneles se los clavarán piezas de 2” x 4” por toda la periferia y se formará una cuadrícula de 24 pulgadas por 24 pulgadas de *ties* según el espesor de la pared, los cuales se colocarán con sus respectivas cuñas. ***Asegúrese de instalar suficientes pies de amigo para impedir que los moldes de plywood se abran al momento de vaciar el hormigón.*** Vacíe el hormigón en tramos de 4 pies de altura que es el ancho del *plywood*. ***Asegúrese de siempre utilizar un vibrador de motor para que el hormigón quede bien compactado y no queden burbujas de aire ni cucarachas.*** Continúe subiendo la pared en tramos de 4 pies de altura. ***Al instalar los plywood para el último tramo, el más alto, asegúrese que el hormigón vaciado hace contacto directo con la parte inferior de la viga existente. De no ser posible espere entre 2 y 3 horas a que el hormigón vaciado se haya endurecido y rellene la parte que falta inyectando “grout” de alta resistencia siguiendo las instrucciones del fabricante. No rellene con pedazos de bloques, piedras u otro material entre la pared que se construye y la viga existente pues así no se puede transferir adecuadamente las cargas del terremoto desde la casa a la pared nueva.***

La construcción de una pared nueva con un ancho uniforme es una tarea relativamente sencilla. Sin embargo, una pared nueva muy ancha, mayor de 20 pulgadas de espesor, conlleva mucho hormigón lo que la pueda hacer muy costosa. En estos casos usted pudiera reducir el espesor de la pared a no menos de 10 pulgadas.

MARTÍNEZ CRUZADO, LÓPEZ RODRÍGUEZ, GONZÁLEZ AVELLANET

En las Figuras 26 y 27 se observa la pared nueva de un mismo ancho en todo su largo (una de 14 pulgadas y otra de 20 pulgadas de espesor). Sin embargo, en la Figura 28 observamos que la pared rodea la columna y se reduce su espesor entre las columnas existentes. Este caso pudiera ser preferible cuando el espesor de la columna produce una pared muy ancha, como por ejemplo en el caso de la Figura 28 tenemos una columna existente de 12 pulgadas por lo que se requiere una pared de 20 pulgadas de espesor para cumplir con una separación de 4 pulgadas hacia cada lado de la columna. Para evitar una pared de tal espesor a todo su largo se puede reducir su espesor, a no menos de 10 pulgadas una vez nos alejamos de la columna existente unas 6 pulgadas.

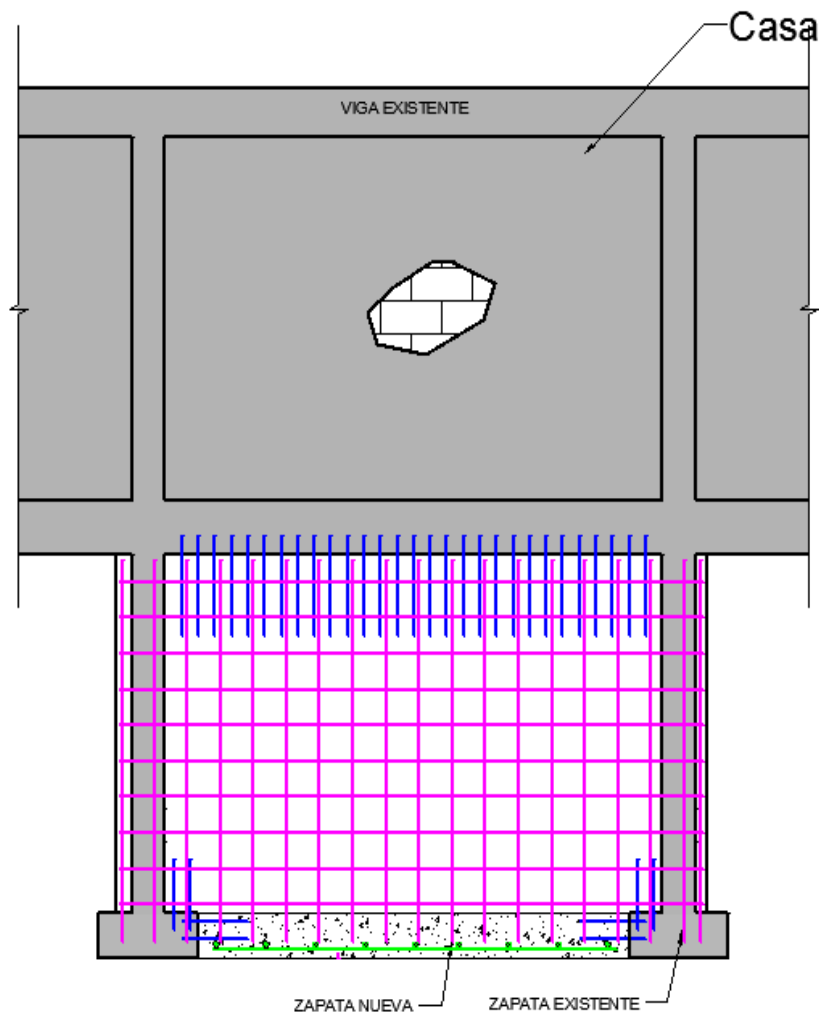


Figura 25. Parte Posterior de la Residencia Lista para Colocarle los Moldes de Madera

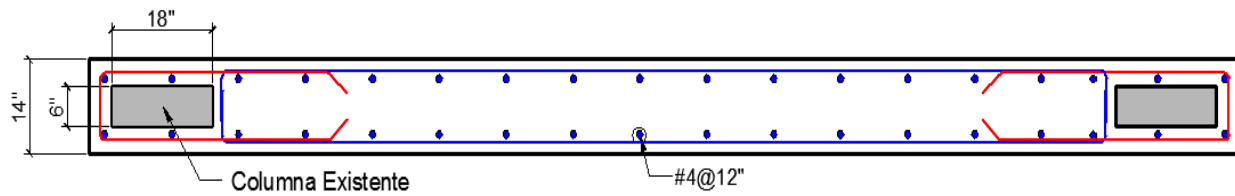


Figura 26. Ejemplo de Pared de 14" para Columna de 18" x 6"

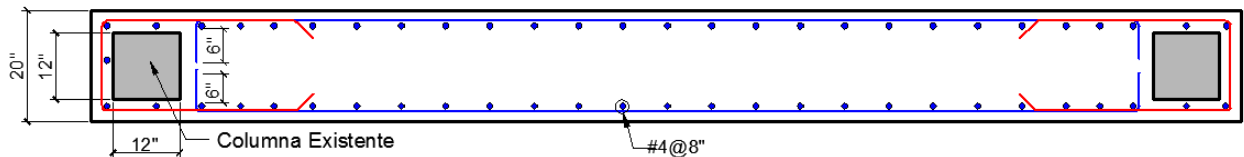


Figura 27. Ejemplo de Pared 20" para Columna de 12" x 12"

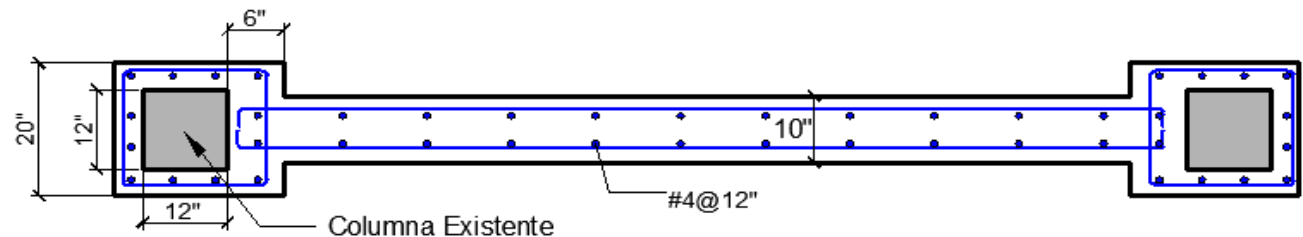


Figura 28. Ejemplo de Pared con Elemento de Borde para Columna de 12" x 12"

#### 4. Diseño de Mezcla de Hormigón

Los cálculos que se han llevado a cabo para sugerir las alternativas de rehabilitación que aquí se presentan han presumido hormigón con capacidad a compresión en 28 días de **3,000 libras por pulgada cuadrada ( $f'c = 3$  ksi) para las paredes, y de 4,000 libras por pulgada cuadrada ( $f'c = 4$  ksi) para la cimentación.** De modo que si usted opta por solicitar los servicios de una cementera indíqueles que le sirvan hormigón de 3,000 ó 4,000 libras por pulgada cuadrada o mejor, según sea el caso. Note que para que una cementera acepte servirle el hormigón usualmente le van a requerir servirle un mínimo de unas 4 yardas cúbicas. De modo que pudiera convenirle a usted tener lista todas las zapatas con sus parrillas de acero instaladas y el acero vertical de la doble cortina de varillas en sitio para entonces le sirvan todo el volumen de hormigón a la misma vez.



## MARTÍNEZ CRUZADO, LÓPEZ RODRÍGUEZ, GONZÁLEZ AVELLANET

Si por otro lado usted decide ligar el concreto usted mismo entonces, utilizando baldes de 3 galones y asegurándose de que tanto la arena como la piedra están bien seca, le sugerimos que utilice la siguiente mezcla: **2 baldes de piedra, 2 baldes de arena, 1 balde de cemento y ½ balde de agua**. Se recomienda utilizar piedra de ½ pulgada de tamaño máximo. No acepte bajo ninguna circunstancia la melcocha que en ocasiones ofrecen las ferreterías. En esos casos seleccione mejor piedra de ¾ de pulgada.

### 5. Estimado de Costo

**Tabla #4. Ejemplo de Estimado de Costo**

Pared de Hormigón de 12' de largo x 12' de altura y 10" de ancho con zapata a 3' de profundidad (precios de ferreterías en Mayagüez, PR).				
Partida	Unidad	Costo por unidad	Número de unidades	Costo
Renta de andamio de 6'	Bisemanal	\$40	2	\$80
Hormigón Zapata (4 ksi)	yd <sup>3</sup>	\$200	4	\$800
Hormigón Pared (3 ksi)	yd <sup>3</sup>	\$150	5	\$750
Varillas #4	1 de 20'	\$6.56	61	\$400
Paneles de ¾"	1 - 4' x 8'	\$30	6	\$180
Madera 2" x 4" DF	12'	\$9	34	\$306
Madera 2" x 4" DF	8'	\$6	17	\$102
Madera tratada 1" x 4"	12'	\$6	2	\$12
Caja de 100 Ties de 10"	Caja	\$69.50	1	\$70
Caja de 50 Cuñas	Caja	\$103	2	\$206
Epoxy	onz. fluida	\$2.70	70	\$189
Pega empañetado	Paila	\$45	1	\$45
Arena	yd <sup>3</sup>	\$62	0.5	\$31
Cemento	saco de 47#	\$5.50	8	\$44
Clavos 4# - 2" y #5 - 3"	Lbs	\$1.75	9	\$16
Clavos de acero de 3"	Lbs	\$5.50	1	\$6
Alambre dulce	Lbs	\$7.00	5	\$35
Asientos ( <i>limbers</i> )	asiento	\$1.00	12	\$12
Vibrador - 8' (18V)	días	\$60.00	3	\$180
			Mano de obra =	\$3,464
			IVU (11.5%) =	\$797
			Total =	<b>\$7,725</b>
			Total para 3 paredes =	<b>\$23,175</b>

**Nota:** Esta tabla no incluye costos por concepto de Permisos de Construcción, Servicios Profesionales a Ingenieros, ni costos de inspección.

**José A. Martínez Cruzado** es Catedrático en el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez donde dicta cursos, desde el 1994, sobre el diseño sismo-resistente de estructuras de hormigón armado. Además, dirige el Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico. Es miembro de la *Seismological Society of América*, del *Consortium of Organizations for Strong Motion Observation Systems*, del *American Concrete Institute* y del *Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico* en el cual trabaja en la Comisión de Terremotos. Ha participado en los equipos de reconocimiento de danos durante los terremotos ocurridos en Ciudad de México, México 1985, en San Salvador, El Salvador 1986, en Loma Prieta, California 1989, en Petrolia, California 1992, en Cariaco, Venezuela 1997, en Puerto Plata, República Dominicana, en Ica, Perú 2007, en Concepción, Chile 2010 y en Puerto Rico 2020. En el 2023 fue galardonado con la Medalla Bruce A. Bolt otorgado por la SSA, el EERI y COSMOS, y elegido, en 2025, como Académico Titular de la Academia Panamericana de Ingeniería. Obtuvo su Bachillerato y Maestría en Ciencias de Ingeniería Civil de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Su Maestría en Ingeniería y Doctorado los obtuvo en la Universidad de California en Berkeley, 1993.

**Ricardo R. López Rodríguez** es Catedrático Jubilado del Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez donde comenzó su carrera en 1988. Obtuvo su Bachillerato en Ciencias y su Maestría en Ingeniería Civil de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez en 1980 y 1982. Del 1982 al 1983 realizó estudios graduados en la Universidad de Cornell. Obtuvo su grado doctoral de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign en 1988. Allí se concentró en el análisis y diseño sismo-resistente de estructuras de hormigón armado. Fue Director Asociado para Estudios Graduados y para Investigación en el Departamento de Ingeniería Civil, donde dirigió el Centro de Investigación en Infraestructura Civil. Ha realizado investigaciones para la Fundación Nacional de Ciencias, (NSF), la Agencia Federal para Manejo de Emergencias (FEMA), la Nuclear Regulatory Commission (NRC), Department of Homeland Security, la Junta de Planificación de PR, la Oficina del Comisionado de Seguros de PR, y la UPR. El Dr. López ha visitado zonas de desastre después de los terremotos de México en 1985, de California en 1989, de California en 1994, de Puerto Plata, RD en 2003, de Chile en 2010, y de PR en 2020. Es Life member del American Society of Civil Engineers, miembro del Earthquake Engineering Research Institute, del American Concrete Institute, del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de PR donde colabora en la Comisión de Terremotos, y de la Sociedad de Ingenieros de PR.

**Yvonne González Avellanet** completó su doctorado en Ingeniería Estructural en la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez en el año 2015. Actualmente trabaja en The Boeing Company, donde se ha desempeñado como ingeniera estructural por más de diez años. En su rol actual, está a cargo del análisis y la reparación del avión de combate F/A-18, aportando una amplia experiencia técnica en materiales compuestos, materiales metálicos y análisis estructural avanzado para aeronaves militares y espaciales. Durante su carrera profesional, la Dra. González Avellanet también se desempeñó como profesora en la Universidad de Saint Louis, donde impartió el curso de Materiales de Ingeniería Civil. Durante su trayectoria universitaria, realizó extensa investigación sísmica, enfocada en evaluar el comportamiento estructural y mejorar la resiliencia de las edificaciones ante eventos sísmicos.

“Estudios realizados en la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez han revelado que todas las casas que dependen de un sistema estructural de columnas esbeltas o “zancos”, típicas en la zona montañosa y aún cerca de la costa, han de colapsar ante los terremotos esperados por los códigos de edificación. Ante esta situación tan preocupante, los autores han desarrollado este manual que, paso a paso y con lenguaje coloquial, lo lleva de la mano para reforzar su casa construyendo paredes “de cemento armado” estratégicamente colocadas. Al finalizar la labor su casa resistirá los terremotos esperados por el código de edificación en la región de Puerto Rico”.



\$20.00

ISBN-13: 978-1970166576

90000



9 781970 166576