

**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN, ESTRUCTURACIÓN Y
PREDIMENSIONAMIENTO EN ALBAÑILERÍA ARMADA HECHA
CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO**

Orden de Servicio: **Nº 3134**

Solicitado por: **Ing. CARMEN KUROIWA HORIUCHI**
Gerente de Investigación y Normalización
SENCICO

Elaborado por: **Ing. ÁNGEL SAN BARTOLOMÉ**
Profesor Principal
Pontificia Universidad Católica del Perú

Fecha: **Febrero del 2008**

CONTENIDO

	Pág.
1. Descripción de la Albañilería Armada	3
2. La Cimentación	5
2.1 Espigas	5
2.2 Cimentaciones en suelos de baja calidad	6
3. El Sobrecimiento	8
4. Bloques y Tratamiento Previo al Asentado	8
4.1 Recorte de bloques	9
5. Mortero	10
5.1 La arena gruesa	10
5.2 Preparación del mortero, trabajabilidad y reemplado	11
6. Construcción de la Albañilería	11
6.1 Consideraciones generales	11
6.2 Asentado de bloques	12
6.3 Jornadas de trabajo, limpieza y curado de juntas	13
6.4 Encuentro de muros y bordes libres	13
7. Detalles del Refuerzo en los Muros	14
7.1 Refuerzo horizontal	14
7.2 Refuerzo vertical	15
8. Vigas de Concreto Armado y de Albañilería Armada	16
9. Bloques de la Última Hilada	17
10. Grout, Vaciado y Curado	17
10.1 El grout	17
10.2 Vaciado y curado	18
10.3 Cangrejeras	19
11. Losa de Techo	20
11.1 Construcción de vigas de concreto y losa de techo	21
12. Estructuración y Predimensionamiento	22
12.1 Espesor efectivo “t”	22
12.2 Muro portante de albañilería armada	22
12.3 Densidad mínima de muros	22
12.4 Distribución de los muros portantes armados	24
12.5 Losas de techo y diafragma rígido	24
12.6 Formas irregulares de la edificación	25
12.7 Alféizares de ventanas	26
12.8 Escaleras	26
12.9 Edificaciones mixtas	27
12.10 Tanques de agua	27
13. Comportamiento Sísmico	28
14. Referencias	28

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN, ESTRUCTURACIÓN Y PREDIMENSIONAMIENTO EN ALBAÑILERÍA ARMADA HECHA CON BLOQUES DE CONCRETO VIBRADO

El uso de técnicas inadecuadas de construcción, así como los defectos en la estructuración y en los detalles del refuerzo, han sido las causas principales por las que muchas edificaciones de Albañilería Armada tuvieron un mal comportamiento sísmico a nivel mundial. Puesto que este tipo de albañilería es de poco uso en nuestro medio, resulta imprescindible mejorar los aspectos señalados, que si bien se encuentran especificados en la Norma E.070 “Albañilería” (Ref.1), en este manual se trata de comentarlos fotográficamente a fin de evitar errores.

En nuestro medio se utilizan bloques de arcilla, de sílice-cal y de concreto para la construcción de las edificaciones de Albañilería Armada, sin embargo, en este manual se analiza exclusivamente el caso de los bloques de concreto vibrado.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ALBAÑILERÍA ARMADA

La estructura de una edificación de Albañilería Armada está compuesta por la cimentación, los muros, las vigas y losas de techo. La diferencia principal entre el sistema confinado y el armado radica en los muros. En el caso de la Albañilería Armada (Fig.1) el refuerzo horizontal y vertical se aloja repartiéndolos en el interior de los muros, cuya albañilería está compuesta por bloques asentados con mortero. Los alvéolos (o celdas) de los bloques se rellenan con concreto líquido (“grout”) después de haberse construido la albañilería, para así integrar al refuerzo con la albañilería en una sola unidad denominada “Albañilería Armada”.



Fig.1. Edificaciones de Albañilería Armada. Nótese que el grout se vacía después de haberse construido la albañilería.

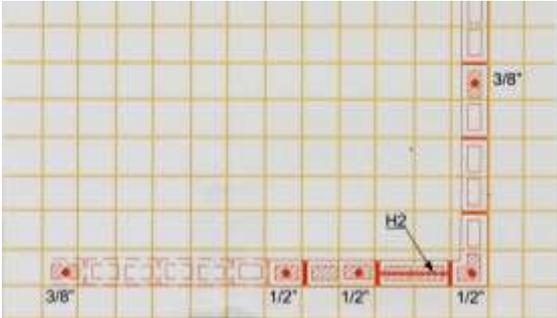
De acuerdo a la Norma E.070 (Ref.1), los muros que desempeñan función sísmica, por ejemplo, aquellos que intervienen en el cálculo de la densidad mínima de muros (acápite 12.3), deben estar completamente rellenos con grout. El uso de muros parcialmente rellenos (con grout sólo en las celdas donde exista refuerzo vertical), no está permitido, porque las celdas vacías terminan triturándose ante los terremotos (Fig.2); sin embargo, los muros parcialmente rellenos pueden emplearse como tabiques o incluso como muros portantes de carga vertical, o cuando se demuestra que la edificación se comportará elásticamente (sin fisuras) ante los sismos severos.



Fig.2. Muro armado parcialmente relleno y trituración de celdas vacías.

Usualmente, este tipo de construcción se utiliza cuando los ambientes son modulares (Fig.3), para evitar el retaceo de los bloques. Cuando los ambientes dejan de ser modulares, los bloques recortados deben emplearse en la zona central de los muros.

Fig.3 (cortesía FIRTH)
Ambientes modulares con retículas de 20x20cm



Un error que frecuentemente se comete, es utilizar los bloques de concreto vibrado vacíos en la construcción de los muros de Albañilería Confinada. Ante los terremotos, después que los muros se agrietan diagonalmente, los bloques vacíos terminan triturados (Fig.4), perdiéndose sustancialmente la resistencia y rigidez lateral de los muros. Es decir, estos bloques fueron creados para emplearlos en las edificaciones de Albañilería Armada rellena con grout.



Fig.4. Trituración de bloques vacíos en edificaciones de Albañilería Confinada.



2. LA CIMENTACIÓN

Podría emplearse cualquiera de las cimentaciones que se utilizan para la Albañilería Confinada, pero en la Norma E.070 (Ref.1) se recomienda no emplear la cimentación corrida de concreto ciclópeo, porque las grandes piedras que se utilizan podrían desplazar al refuerzo vertical, haciendo que éste no encaje en el interior de las celdas del bloque.

El refuerzo vertical debe colocarse con gran precisión (Fig.5), amarrándolo a varillas horizontales y transversales. En caso no encaje en las celdas del bloque, se recomienda recortar sus tapas transversales, pero, de ninguna manera debe doblarse la varilla porque se perdería su capacidad de trabajar a tracción, producida por momento flector y corte-cizalle.

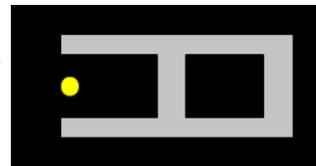
2.1. Espigas

Usualmente se dejan espigas verticales (“dowell”) ancladas en la cimentación, para facilitar la construcción de la albañilería (Fig.6), de otro modo, si el refuerzo vertical fuese continuo, habría que insertar los bloques desde el extremo superior de la varilla.



Fig.5

Cimentación corrida de concreto armado y espigas verticales en muros de Albañilería Armada.



Recorte de tapas cuando no encaje el refuerzo vertical en la celda.

Fig.6

Espigas (izquierda) para facilitar el asentado de los bloques, y refuerzo vertical continuo (derecha).



Cuando se usa espigas, al terminar de construir la albañilería y antes de vaciar el grout, se inserta la barra vertical traslapándola con la espiga. Estos traslapes generan congestión de refuerzo en las celdas que podrían provocar cangrejas en el grout. Además, cuando los traslapes tienen la

misma longitud, ha podido notarse fallas por deslizamiento en la zona donde termina la espiga (Fig.7, Ref.2). Por estas razones, en la Norma E.070 se recomienda que al menos en el primer piso, el más esforzado sísmicamente, se utilice refuerzo vertical continuo y para facilitar la construcción, puede recortarse las tapas del bloque formando una “H” (Fig.8); o, se utilice espigas, pero con traslapes en longitudes alternadas de 60 y 90 veces el diámetro de la varilla.

Fig.7
Problemas generados por el uso de espigas. Cangrejera y falla por deslizamiento.

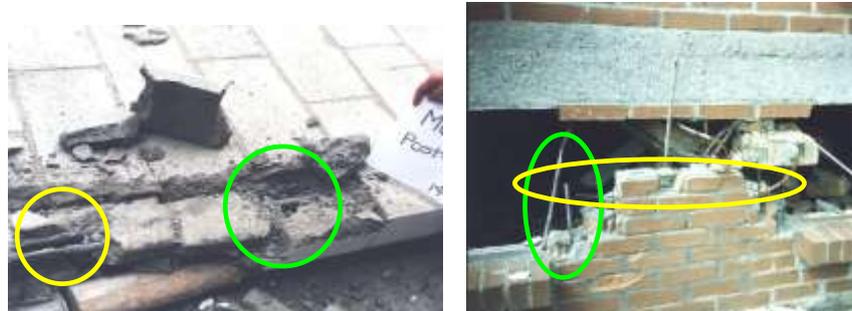
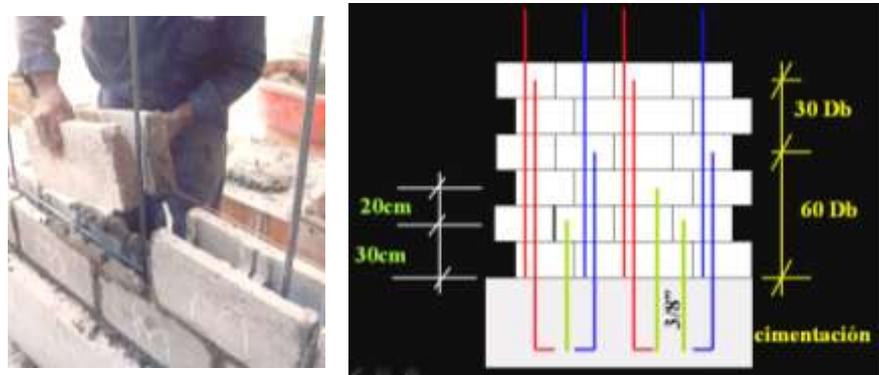


Fig.8
Norma E.070: en el primer piso usar refuerzo continuo y bloques “H” (izq.), o traslapes alternados (der.).



2.2. Cimentaciones en Suelos de Baja Calidad

En suelos de baja calidad, como arena suelta, las vibraciones desarrolladas por los sismos generan una compactación desordenada, lo que da lugar a asentamientos diferenciales que producen la fractura tanto de la cimentación no reforzada como la del muro (Fig.9). Mediante ensayos (Ref.2) se ha observado que basta una distorsión angular de 1/800, como para que la albañilería se fracture. Por esta razón, en este tipo de suelos debe emplearse cimientos de concreto armado muy rígidos (Fig.10), diseñados para evitar distorsiones mayores que 1/800.

Fig.9
Carabaylo, Lima. Suelo de arena suelta.



El uso de cimentaciones rígidas de concreto armado funcionó en un pabellón nuevo del Hospital de Pisco (Fig.10), mientras que los pabellones antiguos quedaron fuera de servicio después del sismo del 15 de agosto del 2007 (Ref.2). Este hospital estuvo ubicado sobre un suelo de arcilla arenosa, con una profundidad de la napa freática de aproximadamente 1.5m.



Fig.10. Cimentación rígida (T invertida) y Hospital de Pisco.

Otras soluciones para el caso de suelo blando, como el uso de solados de cimentación (Fig.11), deben contemplar la inclusión de nervaduras bajos los muros, por la posibilidad de que estos muros al girar por flexión en su base, punzonen al solado, y además porque el refuerzo vertical de los muros, debe anclar allí y tener un recubrimiento de por lo menos 7.5cm.



Fig.11.Solado de cimentación y nervaduras donde existen muros.

Existen zonas donde es preferible no construir por el gran peligro que representan. Por ejemplo, cuando el suelo es arena fina suelta con napa freática muy elevada (humedales), corre el riesgo de licuarse durante los terremotos, convirtiéndose en arena movediza (Fig.12), o también cuando el suelo es del tipo arcilla expansiva que al entrar en contacto con el agua se expande generando asentamientos diferenciales en la estructura.



Fig.12. Suelos no aptos para la construcción. Licuación en Tambo de Mora en el sismo de Pisco del 15-08-2007 (izq. y centro), y arcilla expansiva en Talara (der.).

3. EL SOBRECIMIENTO

El sobrecimiento se considera como una extensión de la albañilería, tiene el grosor del muro y abarca una altura por encima del nivel natural del terreno de por lo menos 30cm (Fig.13), a fin de proteger a la albañilería de la humedad natural del suelo.

En la construcción del sobrecimiento debe emplearse encofrados (Fig.13) y unas 3 horas después de haberse vaciado el concreto, la zona a ser ocupada por el muro debe rayarse en una profundidad de unos 5mm, a fin de mejorar la unión albañilería-sobrecimiento.

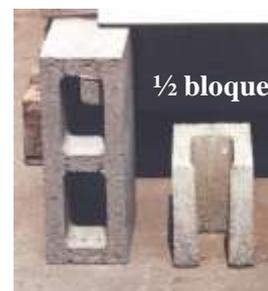
Fig.13
Sobrecimiento.
Nótese el rayado de la superficie superior.



4. BLOQUES y TRATAMIENTO PREVIO AL ASENTADO

Los bloques de concreto vibrado son unidades de grandes dimensiones (Fig.14): 14x19x39cm o 19x19x39cm y sus medidas nominales incluyen 1cm de junta de mortero (15x20x40cm o 20x20x40cm). Estas unidades por lo general presentan 2 celdas, que ocupan un área mayor que el 30% del área bruta, por lo que de acuerdo a la Norma E.070 (Ref.1) califican como huecas.

Fig.14
Bloques de concreto vibrado. A la izquierda se aprecia una media unidad.



En la construcción de los muros armados puede emplearse bloques de concreto de fabricación artesanal, semi-industrial e industrial (Fig.15). Cualquiera sea el caso, es necesario: 1) que los bloques sean fabricados utilizando una mezcla cemento-arena-confitillo relativamente seca (1 pulgada de slump); 2) que sean curados regándolos con agua durante su primera semana de edad; y, 3) que sean utilizados después de haber cumplido más de 28 días de edad, limpiándolos de las partículas sueltas que existan en sus superficies de asentado.

La mezcla debe ser relativamente seca para que no se desmorone al desmoldar, así como para evitar la formación de lechada de cemento en la superficie del bloque, lo cual disminuiría su adherencia con el mortero. El curado es necesario para evitar que la resistencia a compresión disminuya; la resistencia mínima a compresión que exige la Norma E.070 es 50kg/cm^2 , medida sobre el área bruta, para aquellos bloques que se utilicen en muros portantes. La superficie debe estar limpia para evitar capas de polvo que atente contra la adherencia bloque-mortero.

Debido a la alta variación volumétrica que tienen los bloques de concreto, no pueden regarse antes del asentado, porque se expandirían, contrayéndose al secar, lo que podría generar fisuras en el muro. Asimismo, por el mismo fenómeno, los bloques de concreto deben emplearse en estado seco después de haber cumplido 28 días de haberse fabricado. Sin embargo, después de haberse construido la albañilería, es posible regar al muro, porque ahora los bloques se encuentran integrados por el mortero y los cambios volumétricos afectan al conjunto y no a cada bloque. También, por la razón indicada, los muros hechos con bloques de concreto deben tener una longitud máxima de 8m; si exceden esta longitud, debe dividirse el muro con una junta vertical de expansión, de ½ pulgada de grosor, que no necesita atravesar la losa de techo.

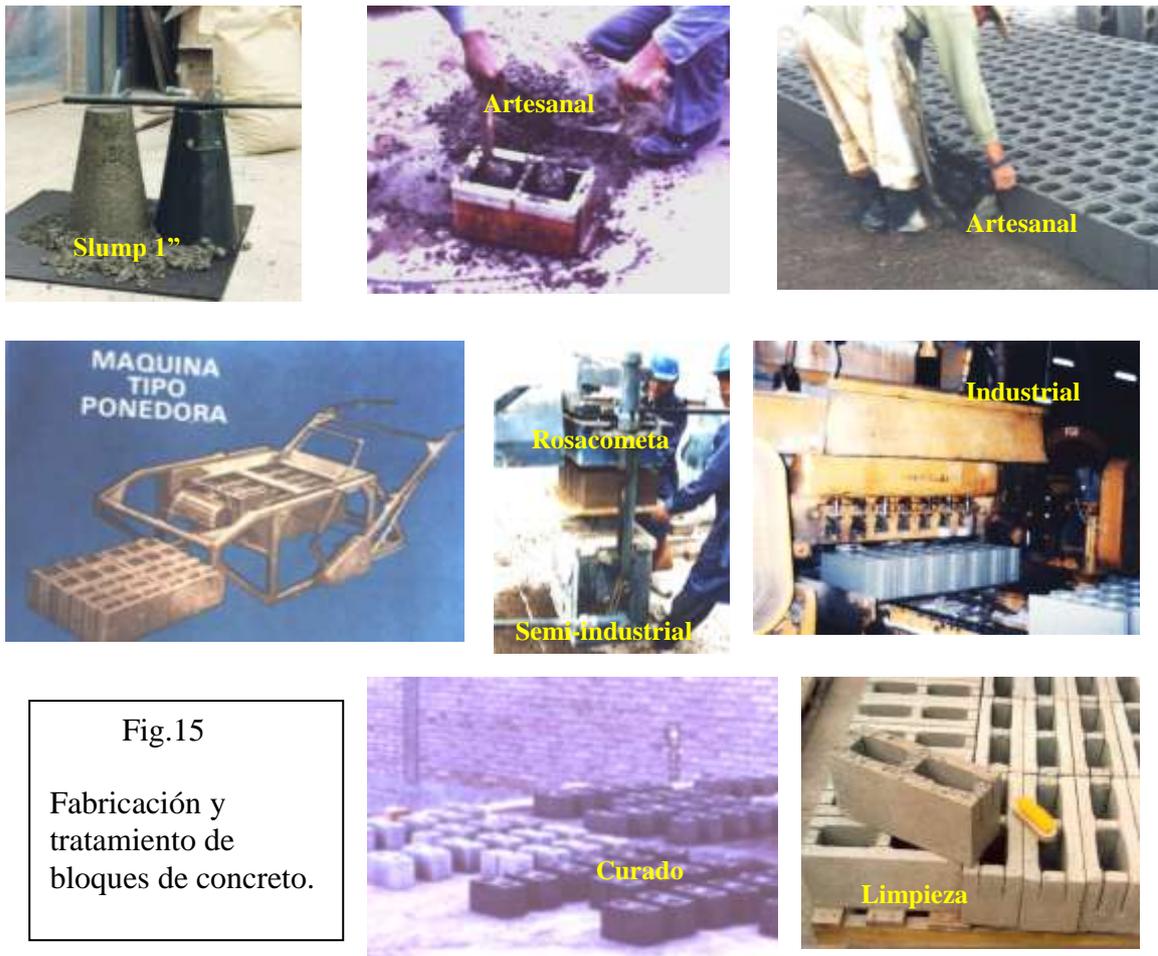


Fig.15
Fabricación y
tratamiento de
bloques de concreto.

4.1. Recorte de Bloques

El recorte de los bloques se realiza antes de asentarlos con una amoladora (Fig.16) en seco y en el lugar de la obra. Estos recortes se hacen para:

1. Formar ventanas de limpieza (“ratoneras”) en los bloques de la primera hilada de todos los pisos. Su función es eliminar los desperdicios de mortero que hayan caído durante el asentado sobre la base del muro (losa o cimiento), para lo cual debe colocarse un retazo de plástico en el interior. De otro modo, se producirá una junta fría en la unión grout-base.
2. Alojarse cajas eléctricas. En este caso, los tubos se instalan antes de asentar los bloques.
3. Colocar el refuerzo horizontal en el eje del muro. Para esto se hacen ranuras de 5cm de longitud en las tapas transversales que se eliminan golpeándolas con un martillo.



Fig.16
Recortes en los bloques.

5. MORTERO

El mortero tiene la función de adherir a los bloques en las distintas hiladas del muro. Está compuesto por cemento (Pórtland o Puzolánico), arena gruesa y agua potable. Como los bloques de concreto vibrado deben asentarse secos, deberá añadirse $\frac{1}{2}$ volumen de cal hidratada y normalizada por cada volumen de cemento (la mezcla usual cemento-cal-arena gruesa es 1: $\frac{1}{2}$: 4) para evitar que el mortero se seque rápidamente. Cabe destacar que la cal hidratada y normalizada actúa como un aditivo que plastifica la mezcla y retarda su pérdida de agua.

5.1. La Arena Gruesa

La arena debe ser almacenada en tolvas temporales a fin de evitar su contaminación con otros materiales (Fig.17). Cuando la arena contiene mucho polvo, el mortero tiende a endurecer reduciéndose la adherencia bloque-mortero, por lo que en esa situación, debe tamizarse a la arena a través de la malla ASTM #200. En el caso que la arena sea salitrosa, debe lavársela con agua potable utilizando la malla #200 para después secarla en un tendal. Una manera práctica de reconocer si la arena presenta sales, consiste en agitar un puñado de arena en un depósito con agua, si se levanta mucha espuma es porque la arena tiene sales.



Fig.17. Contaminación de la arena, exceso de polvo y tamizado de la arena.

5.2. Preparación del Mortero, Trabajabilidad y Retemplado

Una poca cantidad de mortero debe ser preparada en una batea impermeable para que no pierda agua con facilidad. La cantidad de agua a echar en la mezcla seca, debe ser decidida por el albañil, de tal modo de lograr un mortero que fluya y cubra toda el área de asentado de los bloques, en una longitud de hasta 80cm y un grosor comprendido entre 1 a 1.5cm.

La extensión del mortero sobre una hilada de bloques no debe ser mayor que 80cm (2 bloques) para evitar que se endurezca, y el grosor de la junta no debe ser mayor que 1.5cm para evitar pérdidas de resistencia a compresión y a fuerza cortante en la albañilería (Ref.2).

Una manera práctica de controlar la trabajabilidad del mortero (Fig.18) consiste en sacudir verticalmente la mezcla colocada sobre un badilejo, para luego girarlo 180°, si la mezcla queda adherida al badilejo durante 15 segundos, la cantidad de agua utilizada es correcta. Otra forma es medir el revenimiento del mortero en el cono de Abrams, el slump deberá ser de 6 pulgadas.



El endurecimiento de la mezcla (fraguado) se inicia después de 1 hora, aproximadamente dependiendo del clima, después de haber sido preparada. Durante ese tiempo es posible echarle agua una sola vez, operación que se denomina “retemplado”.

6. CONSTRUCCIÓN DE LA ALBAÑILERÍA

6.1. Consideraciones Generales

Tradicionalmente, en los muros armados se utilizan cintas de mortero que corren por los bordes horizontales y verticales de los bloques (Fig.19). Sin embargo, los experimentos (Ref.2) han mostrado que el espacio entre estas cintas no es rellenado por el grout, quedando vacíos, lo cual debilita a las paredes ante los sismos. Por ello, en la Norma E.070 (Ref.1) se especifica que el mortero de todas las juntas debe cubrir totalmente la superficie de asentado del bloque.



Fig. 19. Cintas de mortero tradicional y junta llena (derecha).

Generalmente, la albañilería armada es del tipo caravista, por lo que las juntas deben ser bruñadas externamente (Fig.20) antes que endurezca la mezcla, no solo para mejorar el aspecto de la pared, sino para que emerja una lechada de cemento que impermeabilice al mortero y proteja al muro de la acción de la intemperie.



Fig.20. Plancheta, badilejo, bruñador y bruñado de juntas.

Usualmente, el mortero es preparado por un ayudante, quién lo deposita en poca cantidad sobre una plancheta metálica (Fig.20), cercana al muro en construcción. El albañil sólo se encarga de reemplazar la mezcla, en caso sea necesario, y de asentar los bloques.

6.2. Asentado de Bloques

El primer paso consiste en limpiar y humedecer la superficie rayada del sobrecimiento (Fig.13) o losa de techo en los pisos superiores al primero, no debe emplearse lechada de cemento porque taponan los poros del concreto, e impide la succión del material cementante de la primera capa de mortero. Luego, se aplica mortero y se asientan los bloques ubicados en los extremos del muro (Fig.21), presionándolos verticalmente para que el material cementante del mortero penetre en los poros del bloque. Estas unidades reciben el nombre de “bloques maestros” o “guías”, y son las únicas donde se hace uso de un escantillón (regla graduada con la altura de las hiladas) para controlar el grosor de la junta horizontal y de una plomada para controlar la verticalidad.

Puede emplearse un nivel de 1.2m de longitud en reemplazo de la plomada y una wincha gruesa en reemplazo del escantillón, mientras que para guiar el alineamiento horizontal de los bloques internos respetando el grosor de la junta horizontal, se utiliza un cordel atado en sus extremos a unos dispositivos de madera o de metal. Entre hiladas consecutivas debe haber un traslape de medio bloque, procurándose que las celdas de los bloques traslapados coincidan.



Fig.21. Asentado de bloques maestros y dispositivos para fijar el cordel.

En caso deba retirarse un bloque mal asentado, se asienta uno nuevo y se limpia al bloque retirado con una brocha húmeda guardándolo para la siguiente jornada de trabajo. Adicionalmente, el mortero que caiga sobre un plástico limpio, puede ser reutilizado siempre y cuando esté fresco

6.3. Jornadas de Trabajo, Limpieza y Curado de Juntas

El proceso de asentado se repite hasta alcanzar una altura máxima de 1.3m (Fig.22). No es posible seguir construyendo más hiladas, debido a que el mortero de las hiladas inferiores aún está fresco y puede aplastarse desalineándose el muro.

Al culminar la primera jornada de trabajo o antes que endurezca el mortero, debe bruñarse las juntas, los desperdicios de mortero deberán ser eliminados. Asimismo, se debe limpiar con una varilla la parte interna de las celdas, sin tocar al muro, eliminando las rebabas de mortero producidas por su expansión lateral al presionar verticalmente los bloques; los desperdicios se extraen a través de las ratoneras. También, debe curarse las juntas humedeciéndolas con una brocha; este curado se realiza a una vez al día, hasta el día en que se efectúe el vaciado del grout.



Fig.22. Jornadas de trabajo, limpieza interna de celdas y curado de juntas.

6.4. Encuentro de Muros y Bordes Libres

Todos los muros deben ser construidos en simultáneo (Fig.23) y el encuentro entre paredes transversales debe hacerse traslapando los bloques (dentada), excepto cuando se especifique en los planos de estructuras. El construir en simultáneo permite arriostrar entre sí a los muros que se interceptan, además, permite aumentar el área de compresión en los talones.

Fig.23
Muros construidos en simultáneo (izq.) y muros construidos en 2 etapas (der.).



Una de las zonas más críticas de la albañilería armada se presenta en los talones de los bordes libres (sin paredes transversales o con paredes transversales construidas en 2 etapas). Durante los sismos se generan elevados esfuerzos de compresión por flexión en esos talones, que podrían

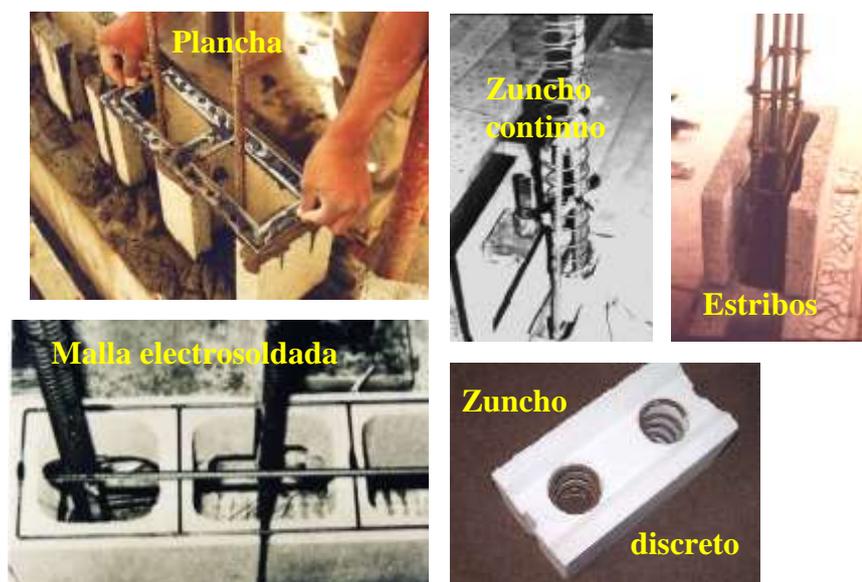
causar su trituración y el pandeo del refuerzo vertical extremo (Fig.24), excepto cuando se les confina con planchas metálicas perforadas, zunchos o mallas electrosoldadas (Fig.25).

Cuando se haga uso de planchas perforadas para confinar los talones (especificado en los planos de estructuras), primero debe aplicarse una capa delgada de mortero sobre el bloque, luego se instala la plancha de tal forma que el mortero rebose por las perforaciones de la plancha, después se aplica otra capa delgada de mortero y se asienta el bloque inmediato superior.

Fig.24
Trituración de talones de bordes libres.



Fig.25
Confinamientos permitidos por la Norma E.070 en bordes libres con elevada flexo-compresión. Cuando se use malla, los escalones van cada 20cm.



7. DETALLES DEL REFUERZO EN LOS MUROS

7.1. Refuerzo Horizontal

Durante la construcción del muro, debe instalarse el refuerzo horizontal que se especifique en los planos de estructuras. Este refuerzo puede ir colocado en las juntas horizontales en forma de escalerilla electrosoldada (Fig.26), o en el eje del muro (Fig.27).

Cuando se coloca escalerilla electrosoldada en las juntas horizontales (Fig.26), debe considerarse: 1) que los escalones de la escalerilla estén distanciados como máximo a 40cm (20cm cuando se usa como confinamiento, Fig.25); 2) que el recubrimiento medido al borde del refuerzo longitudinal sea mayor que 1cm, para protegerlo de la corrosión; 3) que los escalones y el refuerzo longitudinal estén contenidos en el mismo plano horizontal; y, 4) que el diámetro del refuerzo longitudinal no exceda de 1/4". Los ítems 3 y 4 se especifican para que las juntas de

mortero no tengan un grosor excesivo (máximo 1.5cm), de lo contrario la resistencia del muro a compresión y a cortante sísmico decrecerá significativamente.

En caso en un borde libre la escalerilla terminase sin escalón, debe agregarse una horquilla que lo supla (Fig.26). Los refuerzos longitudinales doblados y sin escalones carecen de efectividad para soportar la fuerza cortante sísmica.

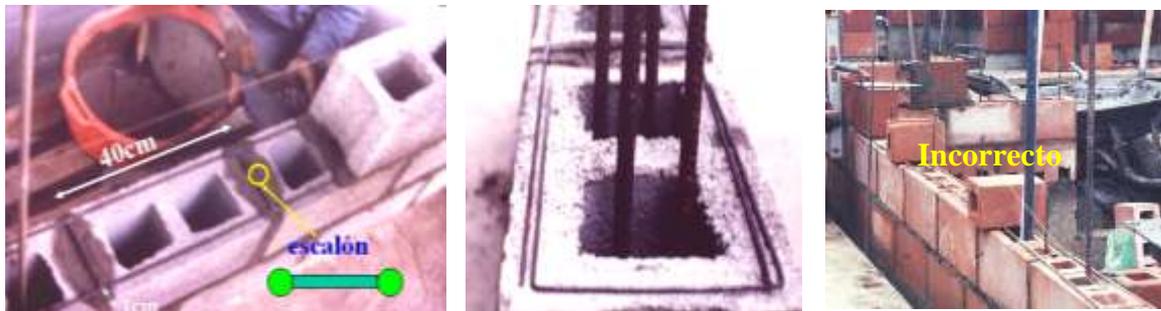


Fig.26. Escalerilla (izq.), horquilla (centro) y refuerzo longitudinal doblado (der.).

Cuando el refuerzo horizontal se coloca en el eje del muro (Fig.27), debe evitarse congestionar las celdas para que no estorben el paso del grout (causa de cangrejas). Por ejemplo, es preferible doblarlo verticalmente u horizontalmente a 90° que hacer un gancho horizontal a 180°.



Fig.27
Detalles del refuerzo horizontal en el eje del muro.

7.2. Refuerzo Vertical

Según la Norma E.070 (Ref.1), para que una varilla quede adecuadamente recubierta y pueda transferir sus esfuerzos al grout, así como para evitar la formación de cangrejas, se requiere que la dimensión mínima de las celdas sea: 5cm por cada varilla o 4 veces el diámetro de la barra por el número de barras alojadas en la celda. Por ejemplo, si el tamaño mínimo de la celda fuese 7.5cm, podrá colocarse hasta una varilla de 5/8”.

Para el caso que se haya empleado espigas (acápite 2.1), o exista traslapes en la parte inferior de los pisos superiores, una vez terminada de construir la albañilería, se inserta la barra vertical (Fig.28), sin amarrarla contra la espiga para que no se congestione la celda. Para evitar que la barra insertada se mueva durante el vaciado del grout, se le amarra a una barra horizontal temporal, que se retira después que el grout haya endurecido.



Fig.28. Insertado de barra vertical, traslape y fijación a barra horizontal temporal.

8. VIGAS DE CONCRETO ARMADO Y DE ALBAÑILERÍA ARMADA

Por la técnica de diseño estructural que se utiliza en la Norma E.070 (Ref.1), buscando que los muros armados fallen por flexión ante los sismos severos, es preferible que las vigas que cubren los vanos de puertas y ventanas (“dinteles”), tengan un peralte igual al de la losa de techo (“vigas chatas”), lo cual permite magnificar el momento flector en los muros.

Usualmente, en nuestro medio se utiliza dinteles de concreto armado. Cuando estos dinteles necesitan ser peraltados, deben ser continuos porque, por ejemplo, en los extremos de los dinteles discontinuos (Fig.29) se generan fisuras ya sea por contracción de secado del concreto, o por cambio de temperatura, con lo cual se pierde la transferencia de esfuerzos sísmicos (momento flector y fuerza cortante) entre el dintel y el muro de apoyo; y también, porque las reacciones verticales en los extremos del dintel, pueden llegar a triturar localmente a los bloques donde apoya el dintel. De esta manera, a pesar que resulta innecesario peraltar a la viga que corre encima del muro (“solera”), ya que no se deforma por flexión o corte (el muro lo impide), si el dintel fuese peraltado, también la solera debería tener el mismo peralte.

Los dinteles pueden ser también de albañilería armada (Fig.29) rellena con grout. En estos casos, los bloques que se utilizan en la base de la viga tienen la forma de “U” (medio bloque, Fig.14) y debe recortárselos para formar ventanas de limpieza. El refuerzo inferior corre por la base de los bloques “U”, mientras que el superior lo hace por la losa de techo y los estribos de la viga son barras verticales que pasan por las celdas de los bloques, espaciados en múltiplos de 20cm y anclados con ganchos a 180° sobre las barras longitudinales.

Fig.29

Dinteles de albañilería armada (arriba) y dintel discontinuo de concreto armado (abajo).



9. BLOQUES DE LA ÚLTIMA HILADA

Cuando se pretende ocultar la costura dejada por la losa de techo (Fig.30) en los muros caravista, los bloques de la última hilada se recortan en su cara longitudinal interna, para que por allí pase el refuerzo de la losa de techo y ancle en el muro, mientras que la cara externa de esos bloques sirve de encofrado a la losa.



Fig.30. Bloques recortados para ocultar la losa.

Para el caso que se utilice albañilería armada parcialmente rellena, los bloques de la última hilada que no contengan refuerzo vertical, se taponan con grout a media altura (Fig.31) días antes de asentarlos, con la finalidad de que el concreto de la losa o solera no se desperdicie y que este concreto penetre en la zona vacía de esos bloques, formando llaves de corte que permitan integrar al muro con la losa. Tal como se indicó en el acápite 1 (Fig.2), este tipo de muro puede ser portante de carga vertical, pero no debe asignársele responsabilidad sísmica.

Fig.31

Bloques de la última hilada taponados a media altura en la albañilería parcialmente rellena.



10. GROUT, VACIADO y CURADO

10.1. El Grout

El grout, o concreto líquido, tiene el objetivo de integrar al refuerzo con la albañilería, formando un solo conjunto. Este concreto tiene la consistencia de una sopa espesa de sémola (10 pulgadas de slump), para que pueda fluir y llenar todos los intersticios internos del muro.

Según la Norma E.070 (Ref.1), el grout clasifica en grueso y fino. El grout grueso, que es el que debe emplearse en los muros hechos con bloques de concreto, contiene cemento-arena-confitillo (o piedra chancada de 1/4") en proporción volumétrica usual de 1: 2½: 1½ (Fig.32) y se utiliza para llenar las celdas con dimensiones mayores que 6cm.

El grout debe ser preparado en una mezcladora y su resistencia a la compresión debe ser mayor que 140kg/cm² a los 28 días de edad. Las probetas para el ensayo de compresión, de

10x10x19cm, deben ser fabricadas empleando como molde a los mismos bloques, forrados internamente con papel filtro, y deben mantenerse en los moldes hasta el día de su ensayo.



Fig.32. Dosificación tradicional del grout grueso (izquierda), medición del slump (centro), y fabricación de probetas para ensayo de compresión (derecha).

Por el alto contenido de agua y porque el vaciado del grout grueso se realiza desde una altura considerable, podría formarse el problema de segregación del confitillo en la base del muro (Fig.33). Este problema se resuelve reduciendo la cantidad de confitillo en la mezcla tradicional, para lo cual se recomienda usar una dosificación cemento-arena-confitillo 1: 3: 1.

Fig.33

Segregación del grout grueso en la base de un muro para 2 mezclas.



10.2. Vaciado y Curado

El vaciado del grout puede hacerse al día siguiente de haberse construido la albañilería. Ha podido notarse (Ref.2) que el grout al secar se contrae y trata de separarse de los bloques (Fig.34), por lo que en la Norma E.070 (Ref.1) se especifica que antes de encofrar las ventanas de limpieza, las celdas deben ser regadas internamente, eliminando el agua que quede empozada en la base. En adición, se recomienda que inmediatamente después de vaciar el grout, los muros hechos con bloques de concreto deben ser curados regándolos externamente con agua 1 vez al día durante 3 días consecutivos.



Fig.34. Regado interno antes de vaciar el grout, regado externo después del vaciado y adherencia grout-bloque con y sin tratamiento de regado.

Luego de encofrar las ventanas de limpieza (Fig.35), se procede a vaciar el grout tratando de no mover lateralmente al muro en su dirección débil. Este proceso se realiza en 2 etapas trabajándose con capas de grout de gran altura (hasta de 1.3m, “high lift grouting”).

En la primera etapa se vacía el grout de la celda extrema del muro hasta alcanzar una altura de aproximadamente 1.3m, para enseguida compactarlo con una vibradora de aguja o una varilla lisa de ½”, luego se repite el proceso para la celda contigua y así sucesivamente hasta completar la longitud total del muro. Transcurrido unos 5 minutos de la primera compactación, se vuelve a recompactar para que el grout se expanda, ya que al secar trata de contraerse y separarse de la albañilería. Luego se espera un tiempo de 30 minutos para proseguir con la segunda etapa; no es posible vaciar la altura completa porque se corre el riesgo de que la presión hidrostática provoque la rotura de los bloques de la primera hilada, debilitados por las ratoneras.

En la segunda etapa se procede con el vaciado de una forma similar a la realizada en la primera etapa, con la diferencia de que al recompactar quede un espacio libre en las celdas de la última hilada, de aproximadamente 1 pulgada medida desde el borde superior del muro, para que el concreto de la viga solera o losa de techo penetre en ese espacio y pueda formar llaves de corte que permitan transferir las fuerzas sísmicas desde la losa de techo hacia el muro.

Fig.35
Vaciado y compactación del grout. A la derecha se observa el espacio libre a dejar en la última hilada.



10.3. Cangrejas

A diferencia de los muros confinados, donde al desencofrar las columnas puede notarse si existen cangrejas, en los muros armados muchas veces estas no son visibles, por lo que en otros países se recurre a equipos de ultrasonido detectores de cangrejas (Fig.36). En nuestro caso, pasadas unas 3 horas después del vaciado, puede golpearse ligeramente al muro con un martillo en las zonas menos húmedas, o donde exista mayor congestión de refuerzo, para detectar, de acuerdo al sonido que se escuche, la presencia de cangrejas.



Fig.36. Cangrejas y equipo de ultrasonido (derecha).

Otras veces, al desencofrar las ventanas de limpieza al día siguiente del vaciado, podrá notarse si existen cangrejas (Fig.37). Si se detectase que una de las ratoneras está vacía, con un taladro se perfora al bloque de la hilada inmediata superior, en la línea vertical donde se presentó la ratonera vacía, y si se observa que también hay vacío, se taladra el bloque inmediato superior y así sucesivamente, hasta encontrar que la celda esté llena de grout. Enseguida, previo encofrado de la ventana de limpieza en cuestión, se inyecta por la perforación superior una lechada de cemento-arena fina 1:3 para taponar la cangrejera.



Fig.37. Reparación de cangrejera con inyección de lechada.

11. LOSA DE TECHO

En las edificaciones de Albañilería Armada puede emplearse losas aligeradas o macizas, armadas en uno o dos sentidos, o viguetas prefabricadas (Fig.38). Especial cuidado debe tenerse con el recubrimiento del refuerzo que deberá ser por lo menos de 2cm para evitar su corrosión.

Fig.38

Viguetas prefabricadas y corrosión del refuerzo en un aligerado.



11.1. Construcción de Vigas de Concreto y Losa de Techo

Una vez que se ha encofrado los elementos estructurales horizontales (losa y vigas), se procede a colocar las tuberías y ha probarlas de cualquier fuga (Fig.39), para enseguida limpiar y humedecer la superficie superior de los muros.

Fig.39

Encofrado y prueba de tuberías.



Posteriormente, se procede a vaciar el concreto, esparciéndolo y compactándolo con una vibradora o una varilla lisa de $\frac{1}{2}$ pulgada, siendo importante indicar que el concreto de las vigas debe vaciarse en simultáneo con el de la losa (excepto cuando la viga es de albañilería armada), para garantizar un adecuado monolitismo; de otro modo, cuando el concreto de las vigas se vacía en 2 etapas (Fig.40), se formará una junta de construcción entre la losa y la parte intermedia de la viga y un plano potencial de falla por deslizamiento entre estos elementos, dado que las fuerzas sísmicas horizontales se transmiten desde la losa hacia las vigas y de allí a los muros.

Fig.40

Vaciado de vigas. Proceso correcto e incorrecto.



Enseguida, el concreto de la losa se enrasa (Fig.41) con una regla y pasadas unas 3 horas, se rayan las zonas donde se construirán los muros del piso superior. Es importante curar al concreto durante 7 días consecutivos, ya sea con yute húmedo (regándolo 2 veces al día), o formando arroceras. De observarse fisuras por contracción de secado en la superficie de la losa, debe taponárselas con una lechada de cemento-arena fina 1:3. Después, se procede con la construcción de los muros del piso inmediato superior, repitiéndose el procedimiento señalado desde el acápite 4, para finalmente proceder con los acabados de la edificación.



Fig.41. Enrasado del concreto, curado y edificación terminada.

12. ESTRUCTURACIÓN Y PREDIMENSIONAMIENTO

Los criterios que a continuación se indican están especificados en la Norma E.070 (Ref.1) y se aplican tanto a la Albañilería Armada como a la Confinada.

12.1. Espesor Efectivo “t”

Se define al espesor efectivo “t” (Fig.42) como el espesor bruto del muro descontando recubrimientos y bruñas. El tarrajeo debe descontarse porque puede desprenderse por la acción vibratoria de los sismos, salvo que se aplique sobre una malla debidamente conectada al muro. Este espesor debe ser mayor que la altura libre de la albañilería entre 20 ($t \geq h/20$).

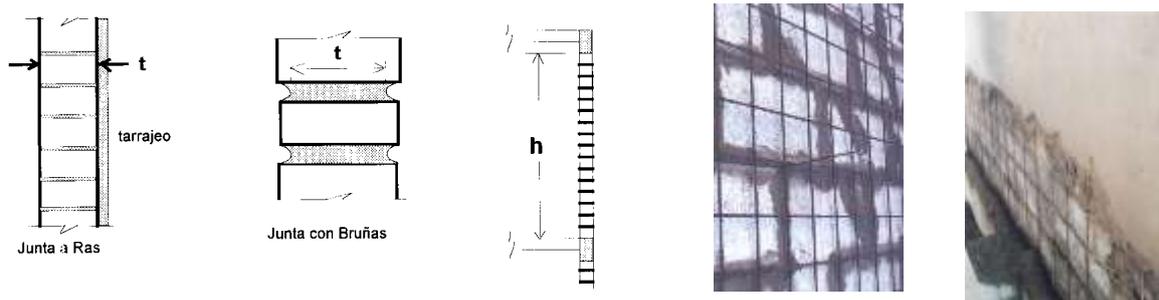


Fig.42. Espesor efectivo “t”. Contabilizar al tarrajeo si se aplica sobre una malla.

12.2. Muro Portante de Albañilería Armada

Aparte de que el muro debe estar totalmente relleno con grout, para que un muro armado se considere portante de carga vertical y sísmica, es necesario que tenga continuidad vertical, para que los esfuerzos producidos por la carga de gravedad y sísmica, se transmitan de un piso al otro hasta llegar a la cimentación. Cuando los muros carecen de continuidad vertical (Fig.43), actúan como simples tabiques y su refuerzo vertical, anclado en las losas de techo, deberá ser suficiente como para evitar su colapso por carga sísmica perpendicular al plano del muro.

Fig.43
Discontinuidad vertical y volcamiento por carga sísmica perpendicular al plano de un muro no arriostrado.



12.3. Densidad Mínima de Muros Portantes

En la Norma E.070 (Ref.1) se proporciona la fórmula que aparece en la Fig.44, para determinar la densidad mínima de muros portantes que debe tener cada dirección (X,Y) de una edificación de albañilería armada (o confinada). Esta expresión se utiliza sólo con fines de predimensionamiento para evitar un estado de colapso total cuando ocurran terremotos severos y no exime del diseño estructural que deben tener los muros.



Fig.44. Expresión para determinar la densidad mínima de muros en cada dirección (X, Y) y colapso por falta de densidad de muros.

Los muros portantes que intervienen en esa expresión, en especial los ubicados en el perímetro de la edificación, deben estar totalmente rellenos con grout, tener continuidad vertical y además deben tener una longitud mayor que 1.2m. Los términos de la fórmula son:

- L = longitud total del muro.
- t = espesor efectivo.
- A_p = área de la planta típica (usar un valor promedio si las plantas varían).
- Z = factor de zona sísmica (Ref.3). Z = 0.4 para la Costa y Z = 0.3 para la Sierra.
- U = factor de uso (Ref.3). U = 1.0 para viviendas u oficinas, U = 1.5 para colegios.
- S = factor de suelo (Ref.3). S = 1 en suelos de buena calidad, S = 1.4 para mala calidad.
- N = número de pisos de la edificación encima del piso en análisis.

Por ejemplo, una vivienda (U = 1) de dos pisos (N = 2), ubicada en suelo de mediana calidad (S = 1.2) de la Costa (Z = 0.4), requeriría por lo menos en su primer piso y en cada dirección (X, Y) un área de muros por cada metro cuadrado de área en planta igual a $0.4 \times 1 \times 1.2 \times 2 / 56 = 0.017$ (1.7%). Si los muros armados tuviesen un espesor efectivo $t = 0.14\text{m}$, y si el área de la planta típica fuese $A_p = 100\text{m}^2$, entonces, se requeriría que por lo menos la suma de las longitudes de los muros portantes armados en cada dirección, sea mayor que $\sum L \geq 100 \times 0.017 / 0.14 = 12\text{m}$.

De no cumplirse la fórmula, puede modificarse el grosor de algunos muros (de $t = 14\text{cm}$ a $t = 19\text{cm}$), o cambiar algunos por placas de concreto armado. De emplearse placas, en la fórmula se multiplica el grosor real de la placa por 3 (relación de módulos de elasticidad concreto armado-albañilería armada). Estas placas pueden tener discontinuidad vertical (Fig.45), transformándose en albañilería armada en los pisos altos, pero no deben colocarse como una continuación horizontal de la albañilería armada, porque se formarían grietas verticales en esa unión.

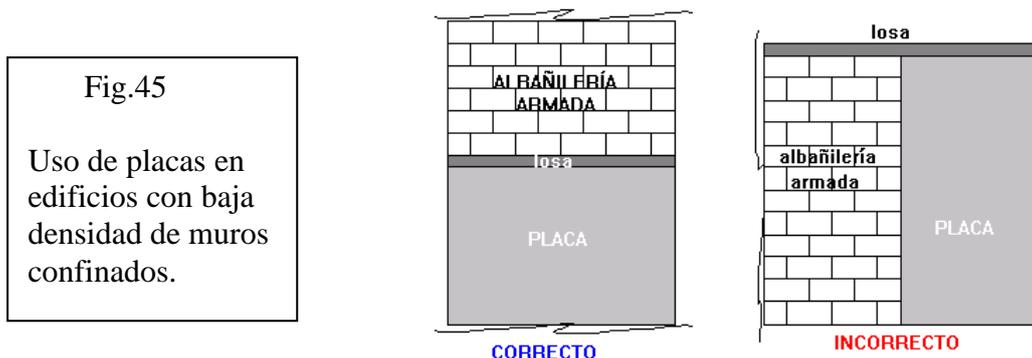


Fig.45

Uso de placas en edificios con baja densidad de muros confinados.

12.4. Distribución de los Muros Portantes Armados

En las dos direcciones (X,Y, Fig.44), la distribución de los muros en la planta de la edificación debe ser lo más simétrica posible, a fin de disminuir los problemas de torsión sísmica. Asimismo, cuando en el primer piso se discontinúa verticalmente a los muros, por la existencia de cocheras, tiendas, etc., este piso se torna muy flexible lateralmente, y ante los terremotos podría dar lugar al problema de “Piso Blando”.

Por ejemplo, en el edificio de la Fig.46, se combinaron los siguientes factores que dieron lugar a su colapso ante el sismo de Pisco del 15 de agosto del 2007 (Ref.2): 1) la baja calidad de los ladrillos, que dio lugar a una baja resistencia al corte de los muros; 2) la baja densidad de muros en la dirección corta, donde sólo habían 2 muros perimetrales; 3) la mala distribución en planta de los muros, donde el muro longitudinal no aporta resistencia a fuerza cortante en la dirección corta, sino más bien genera torsión, que incrementa a la fuerza actuante sobre los 2 muros de la dirección corta; y, 4) la existencia de cocheras, que dio lugar al problema de “piso blando”. Este tipo de estructuración debe ser evitada.

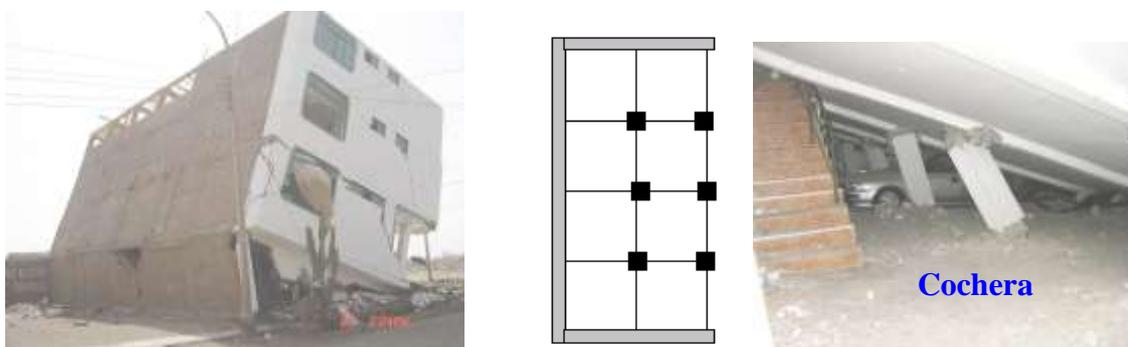


Fig.46. Combinación de factores negativos que produjeron el colapso del edificio.

El problema de “Piso Blando” también puede presentarse cuando se utiliza bloques huecos de concreto vibrado en muros confinados, o de albañilería armada. Al triturarse los bloques vacíos, se pierde la resistencia a fuerza cortante y se flexibiliza fuertemente el primer piso, como se muestra en la Fig.47 correspondiente al sismo del Sur del 23 de junio del 2001 (Ref.2).

Fig.47
Piso Blando por trituración de bloques vacíos.

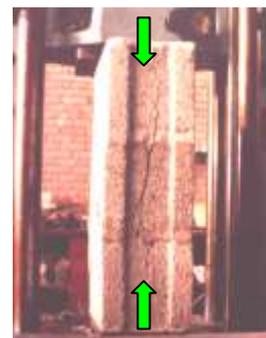


12.5. Losas de Techo y Diafragma Rígido

De acuerdo a la Norma E.070 (Ref.1), el esfuerzo axial en los muros producido por las carga de gravedad, no debe superar al 15% de la resistencia a compresión de las pilas de albañilería (f'm), de lo contrario, el muro perdería ductilidad ante las cargas sísmicas. De presentarse esta situación, es aconsejable reemplazar a los techos aligerados por losas armadas en 2 sentidos (aligeradas o macizas), ya que estas losas redistribuyen la carga de gravedad sobre todos los

muros de la edificación (X, Y), según se muestra en la Fig.48, mientras que las viguetas del aligerado concentran mayormente las cargas sobre los muros donde se apoyan.

Fig.48
Losa armada en 2 sentidos, cuando la carga axial es excesiva, y pila de albañilería.



Tanto la losa maciza como la aligerada, son indeformables para cargas axiales contenidas en su plano y actúan como una gran plancha (“diafragma rígido”) que conecta a todos los muros, uniformizando sus desplazamientos laterales ante los sismos. Sólo en el último piso, la Norma E.070 permite el uso de diafragmas flexibles (techo metálico o de madera), pero en este caso, la viga solera sobre todos los muros es imprescindible (Fig.49), para arriostrarlos horizontalmente.

Fig.49
Diafragma flexible en el último nivel. Muros sin soleras (izquierda) y con solera (derecha).



12.6. Formas Irregulares de la Edificación

En la medida que sea posible, las plantas (H, L, T, U, etc.) y elevaciones irregulares como las mostradas en la Fig.50, deben evitarse mediante juntas sísmicas, dividiendo a la edificación en una serie de bloques rectangulares, con una relación longitud-ancho (L/B) que no exceda de 4. Cuando L/B supera a 4, el techo se comporta como diafragma flexible, y cuando la planta tiene forma irregular, cada porción trata de vibrar independientemente, generando fracturas en la losa.

Según la Norma E.070 (Ref.1), cuando se utilice unidades (ladrillos o bloques) de arcilla o de sílice-cal, se permite que un muro tenga una longitud máxima de 25m, mientras que si se utiliza unidades de concreto, la máxima longitud del muro es 8m. Esto se debe a que las unidades de concreto presentan alta variación volumétrica por cambios de temperatura, o por contracción de secado del grout, que podrían causar la fractura de los muros. En caso se use unidades de concreto, la junta vertical (cada 8m) no tiene que atravesar a la losa de techo, pero si la planta tuviese más de 25m de longitud, la junta deberá atravesar a la losa de techo.

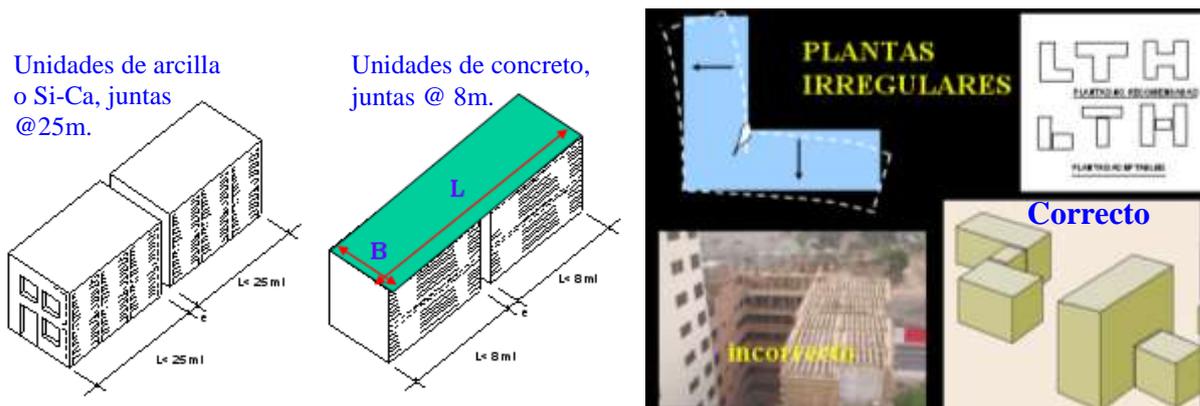


Fig.50. Formas irregulares y juntas de control.

12.7. Alféizares de Ventana

Cuando no se aíslan los alféizares de ventana de la estructura principal (Fig.51), puede formarse fisuras en esa unión por la diferencia de cargas verticales existente entre el muro portante y el alféizar (con carga nula), quedando el parapeto suelto; por esa misma razón, el cerco de los patios y jardines se aísla del muro portante. Asimismo, al perder altura el muro portante, se magnifica su rigidez lateral, lo que hace que absorba un mayor porcentaje de la fuerza sísmica y, además, cause torsión a la edificación. Por ello, se recomienda aislar los alféizares reforzándolos para evitar su volcamiento por cargas sísmicas transversales (Fig.52).

Fig.51
Problemas generados por el alféizar integrado al muro portante.



Fig.52
Aislamiento de alféizar hecho de albañilería armada.

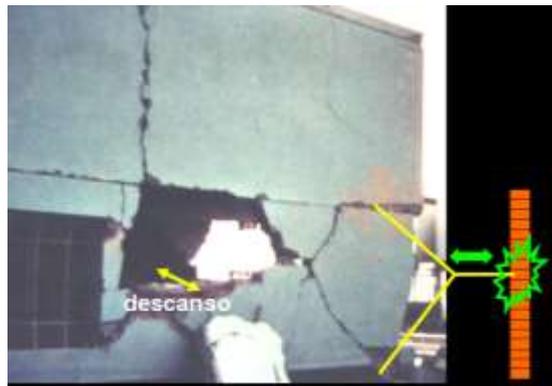


12.8. Escaleras

Muchas veces el descanso de las escaleras apoya sobre la albañilería. Durante los sismos, la escalera empuja al muro generando una acción concentrada que termina punzonando a la

albañilería cuando esta carece de refuerzo (Fig.53). Ese empuje debe ser absorbido por el refuerzo vertical y horizontal colocado en el muro, suponiendo que éste actúa como una losa apoyada en sus arriostres (techos y paredes transversales).

Fig.53
Punzonamiento de la albañilería no reforzada por empuje del descanso de la escalera.



12.9. Edificaciones Mixtas

Existen edificaciones mixtas donde los muros armados están orientados en una sola dirección, mientras que en la dirección transversal (generalmente la de la fachada), se opta por una solución aporticada. Puesto que los pórticos de concreto armado son muy flexibles, la albañilería no puede seguir su deformada y termina agrietándose (Fig.54), ya sea por carga vertical, cuando las luces son grandes y la carga es importante, o por carga sísmica. La solución a este problema se logra peraltando a las columnas en la dirección aporticada, de tal forma que las derivas máximas sean menores que 0.005, inferior a la deriva máxima (0.007) especificada para los sistemas aporticados en la Norma E.030 (Ref.3).

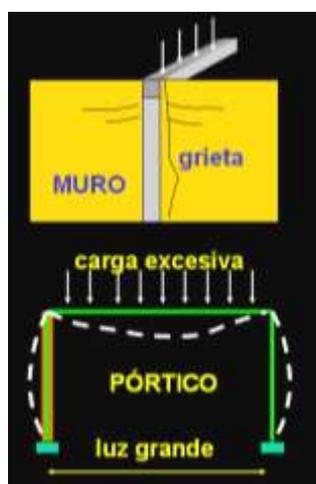


Fig.54. Flexibilidad de los pórticos.

12.10. Tanques de Agua

Usualmente los tanques de agua apoyan sobre 4 columnas (Fig.55) muy flexibles en comparación con el último piso de albañilería. Este cambio brusco de rigidez crea un efecto de látigo durante los sismos, originando un incremento importante de las fuerzas horizontales en el tanque que podrían causar su colapso. Para evitar este cambio brusco de rigidez en tanques existentes, se recomienda taponar los paños libres con muros de albañilería.



Fig.55. Tanques de agua y solución planteada para evitar su colapso ante los sismos.

13. COMPORTAMIENTO SÍSMICO

En el Perú es poca la experiencia sísmica que han tenido las edificaciones de Albañilería Armada, por el hecho de haberse construido conjuntos residenciales principalmente en Lima (Fig.56) después del terremoto de 1974, a diferencia de otros países. Sin embargo, se espera que siguiéndose las reglas de construcción y diseño estructural establecidas en la Norma E.070 (Ref.1), que contemplan también la experiencia extranjera, se logre un comportamiento adecuado ante terremotos que ocurran en el futuro.

Fig.56

Experiencia sísmica en edificios de Albañilería Armada.



14. REFERENCIAS

1. SENCICO, edición 2007. Norma Técnica E.070 “Albañilería”.
2. Ángel San Bartolomé, 2007. Blog de Albañilería: <http://blog.pucp.edu.pe/albanileria>
3. SENCICO, 2006. Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”.