



MAMPOSTERIA SISMORRESISTENTE

(EXTRACTO DE APUNTE DE CATEDRA DE ESTRUCTURAS III 2022)

Estructuras III A

Prof. Titular:

Eduardo Rodríguez Cimino

Prof. Adjunta:

Julieta Mansilla

Prof. Asistentes:

Leonel Ghiglione

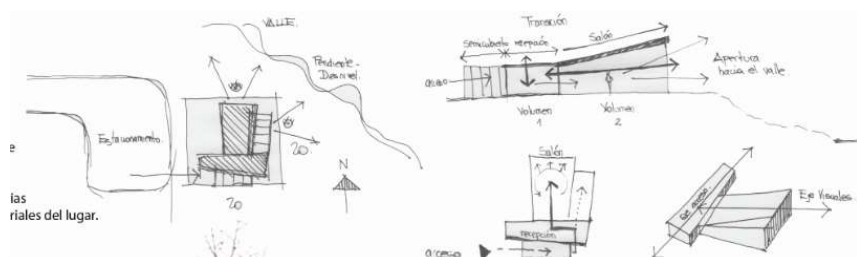
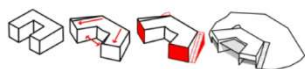
Horacio Altamirano

Anabella Cardellino

Ana Otera

Madeleine Ledezma Orozco

EL PROCESO DE DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA



El proceso a seguir para diseñar un mecanismo estructural es muy similar al proceso de diseño de cualquier objeto. En todos existe una dinámica relación de retroalimentación entre las condicionantes y premisas y el resultado propuesto.

En este proceso, en cada ciclo, la nueva propuesta es analizada total o parcialmente y es evaluada o verificada en función del conjunto de los parámetros que aporta cada aspecto de la arquitectura (función, imagen, confort, sensaciones, intenciones, estructura, instalaciones, factibilidad constructiva, economía, etc.)

De esta manera cada ciclo retroalimenta el proceso y produce variantes en la propuesta. Ésta se va modificando hasta que se llega a un punto en que el diseñador juzga que alcanzó un suficiente grado de coherencia con todos los aspectos que han influido en el proceso y, por ahora, se constituye en el mejor resultado que puede lograrse de todos los por él estudiados.

Diseñar un mecanismo estructural pasa por proponer una cierta cantidad de planos portantes y resistentes con materiales, configuraciones y dimensiones cada vez más determinadas que, en cada ciclo, van siendo sometidas a verificaciones más profundas y detalladas en función de los sistemas de fuerzas exteriores que deberán soportar durante su vida útil.

Como todo proceso de diseño, este tampoco es lineal, los ciclos no son siempre iguales ni desarrollan todas las etapas del proceso y también podemos calificarlo como de “caja negra”. Salvo que en este proceso no solo intervienen los aspectos estructurales sino también los que se refieren al análisis de la compatibilidad y coherencia con todos los aspectos que conviven con el mecanismo estructural en la arquitectura.

Lo verdaderamente importante es que avanzamos de lo general a lo particular, en función de la mayor profundización de los procesos de evaluación y verificación a que van siendo sometidos los sucesivos mecanismos estructurales propuestos con sus variantes.

En definitiva, para resolver adecuadamente una estructura se deben tener en cuenta algunas premisas a saber:

- La estructura forma parte de la arquitectura que diseñamos, de manera que tenemos que acostumbrarnos a pensar que la estructura debe ser tenida en cuenta **necesariamente** desde el principio.
- No existe el concepto de estructura “óptima” o ideal. Existe, sí, el concepto de que la estructura debe ser coherente con las intenciones de diseño que han “modelado” la arquitectura propuesta.
- La estructura debe diseñarse antes que calcularse¹. Esto quiere decir que primero hay que darle proporciones y dimensiones. Algunas veces, a priori, son necesarios algunos rápidos procedimientos empíricos aproximados para

¹ Cabe recordar a Pier L. Nervi cuando, llamando “ojo estático” a cierta sensibilidad dimensional necesaria para diseñar estructuras, acotó: “Muy rara vez una estructura que satisfaga a la vista resulta apreciablemente equivocada en sus partes o en el conjunto.” P.L.Nervi. “El lenguaje arquitectónico”. Fac. Arq. UBA. 1951.

establecer dimensiones de sus partes. Otras, las dimensiones son mandadas o condicionadas por otros aspectos de la arquitectura. Por ejemplo: el diseño de una fachada y sus componentes, la apariencia pretendida de un determinado plano, aspectos constructivos, de factibilidad económica, etc.

También podemos agregar que, entre las muchas cosas que influyen en el diseño de la estructura y pueden constituirse en parámetros de su evaluación, caben:

- La coherencia con la “idea de partido” adoptada.
- La compatibilidad con los otros aspectos que hacen a la solución arquitectónica.
- La factibilidad constructivo-económica.
- La eficiencia del mecanismo estructural propuesto.

CONSIDERACIONES: CONSTRUCCIÓN COMO CONJUNTO

El objetivo fundamental es plantear la rigidización de la construcción como un conjunto tridimensional resistente a fuerzas en cualquier dirección del espacio, definiendo un ámbito habitable.

Sistema mínimo de resistencia

Analizaremos primero la resistencia a fuerzas en cualquier dirección. Desde el punto de vista de la acción sísmica, fuerzas horizontales.

1) dada una acción horizontal es posible colocar un plano vertical para resistirla. El equilibrio exige que la línea de acción de la fuerza sea coplanar con el plano. Las acciones perpendiculares al mismo no pueden resistirse con el elemento resistente; por lo que es necesario un segundo plano. Con este mecanismo puede resistirse cualquier acción que pase por el eje de la intersección de ambos planos (Fig. 1)

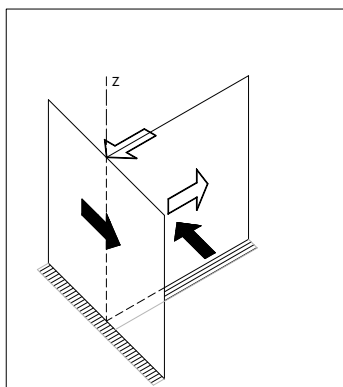


Figura 1 Solo puede resistir fuerzas que pasan por la intersección de los ejes.

2) cuando las acciones no pasan por el mismo hace falta un tercer plano, como mínimo. Con este sistema es ya posible resistir también torsiones. (Fig. 2)

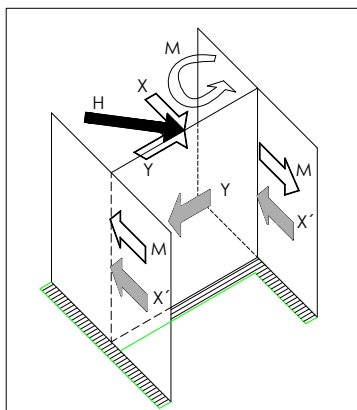


Figura 2 Tres planos mínimos, resiste Torsión.

3) así podrían tomarse fuerzas en cualquier dirección y en cualquier ubicación, salvo que los planos resistentes no son coplanares. Esto nos exige un segundo tipo de análisis: la transmisión efectiva de los esfuerzos y la acción conjunta de los elementos, por lo que es necesario un cuarto plano, horizontal. Este plano tiene la misión de vincular los planos verticales, distribuyendo las cargas y haciendo trabajar en conjunto. (Fig. 3)

ESTE DEBE CONSIDERARSE EL SISTEMA MINIMO DE RESISTENCIA

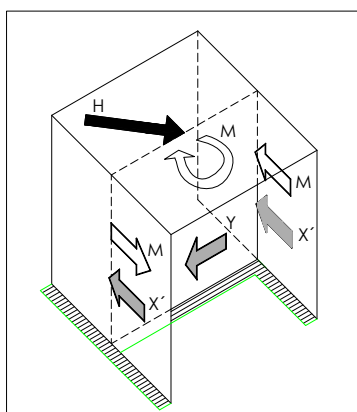


Figura 3 Tres planos verticales mínimos más un plano horizontal que los vincula.

CENTRO DE MASA Y CENTRO DE RIGIDEZ

El mecanismo estructural propuesto para una construcción, deberá cumplir con las condiciones de asegurar la estabilidad y permanencia de la misma con la coherencia y compatibilidad necesarias con el resto de los aspectos arquitectónicos y, también, minimizando al máximo los efectos de las acciones exteriores que operan sobre su estructura.

Cuando analizamos las acciones producidas por un sismo en una construcción vemos que la relación que existe entre la conformación del edificio y su sistema resistente está representada, básicamente, por dos conceptos. Uno está calificado por el punto donde consideramos concentradas todas las masas de la construcción y llamamos **centro de masa** y otro calificado por un punto que depende de los planos portantes y llamamos **centro de rigidez o torsión**.

El centro de masa, en el caso de construcciones convencionales como éste, está estrictamente vinculado a la geometría de la planta del edificio y puede ser ubicado en correspondencia con el centro de gravedad de la figura de su planta asumiendo, por simplificación, que los pesos se encuentran homogéneamente distribuidos en toda su superficie. En teoría es el punto donde se considera aplicada la fuerza estáticamente equivalente a la acción del terremoto.

En cuanto al centro de rigidez, como veremos más adelante, su posición depende, también en planta, de la ubicación, inclinación, dimensiones y materiales de los planos **resistentes** verticales. **Estos planos, que deberán ser capaces de resistir las solicitaciones sísmicas, pueden estar conformados por pórticos, muros de mampostería, tabiques de hormigón armado o entramados de madera o acero.**

UBICACIÓN DE LOS PLANOS

La ubicación en planta de los planos verticales tiene mucha importancia. Las fuerzas horizontales estarán aplicadas en el centro de gravedad de la construcción. Cuando el centro de rigidez, punto en que si se aplica una fuerza al edificio, sólo se producen traslaciones, y si se aplica un par, el edificio gira a su alrededor, coincide con el centro de gravedad, los elementos resistentes soportan esfuerzos en proporción a sus rigideces relativas y los extremos de los mismos solo experimentan traslaciones. Cuando no coinciden se origina un par de torsión que es resistido por la redistribución de los esfuerzos que la rotación de la estructura ocasiona.

(Fig 4)

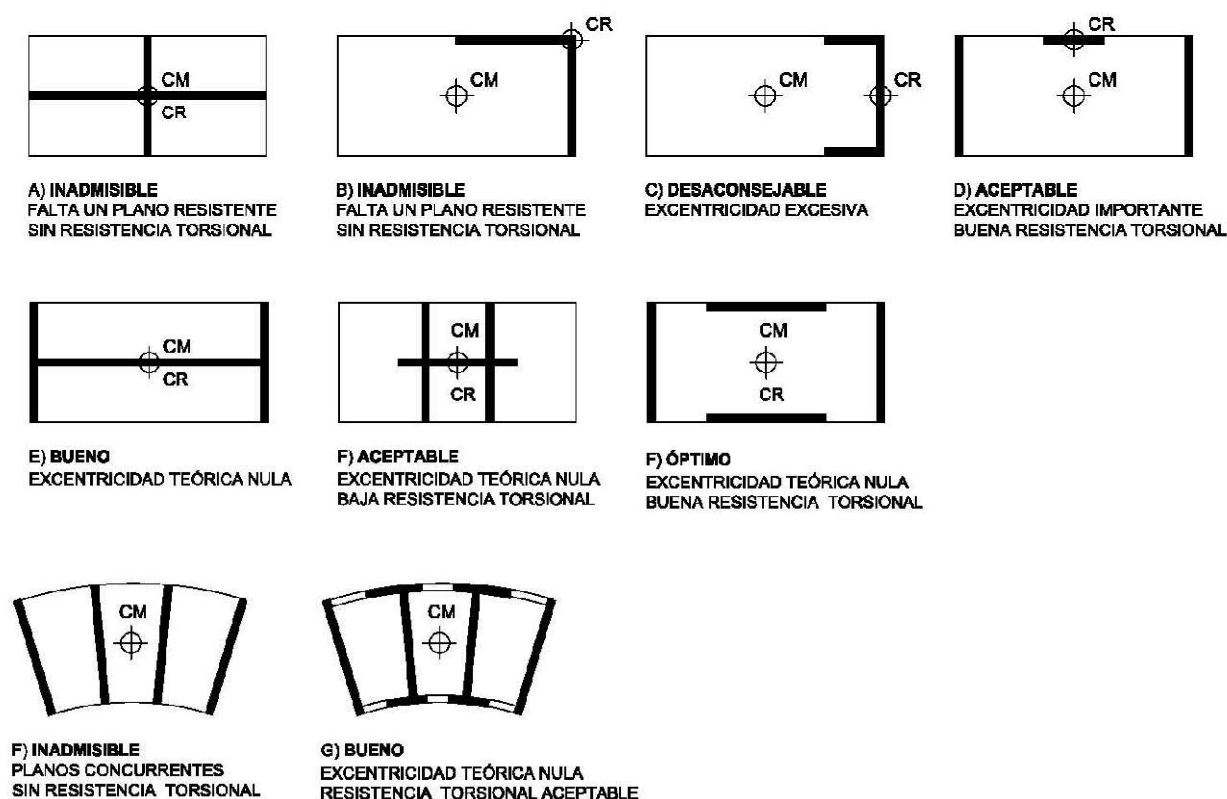


Figura 4 Los gráficos muestran la relación entre los elementos verticales de rigidización y la ubicación relativa de los centros de masa y rigidez.

DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE MASA

La determinación del centro de masa o, lo que es lo mismo en nuestro caso, centro de gravedad de la figura, puede realizarse con una serie de procedimientos gráficos y analíticos y modelos físicos. Para los distintos métodos explicados a continuación, es necesario considerar un sistema de coordenadas ubicado de manera tal que la planta de techo quede situada en el primer cuadrante: este sistema será el mismo con el cual, posteriormente se determinará el *centro de rigidez de la construcción*.

Determinación de centro de gravedad de figuras conocidas (fig, 5, 6 y 7).

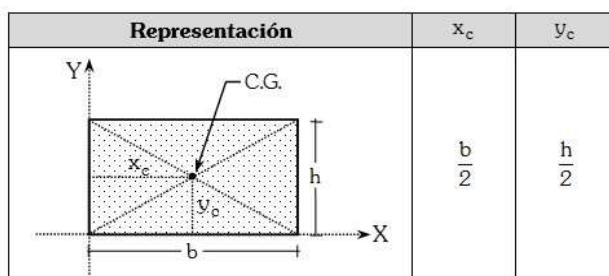


Figura 7 CG de un Rectángulo

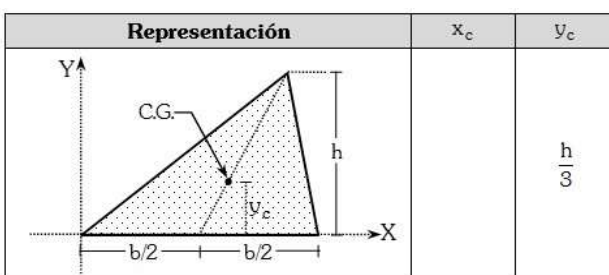


Figura 7 CG. De un triángulo cualquiera

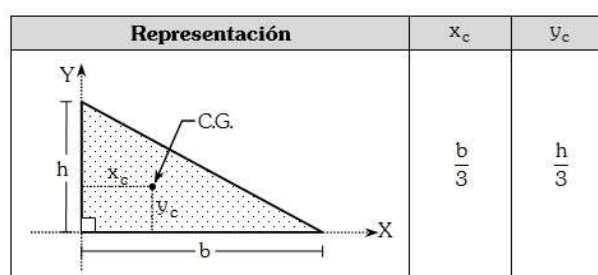


Figura 7 CG de un triángulo rectángulo.

Para figuras complejas se pueden emplear alguno de los siguientes métodos.

1. Aplicación del **Teorema de Varignon**

El momento de la resultante de un sistema de fuerzas respecto a un punto es igual a la suma de los momentos de las fuerzas componentes respecto al mismo punto.

$$M_R = \sum F_i \times d_i$$

Donde:

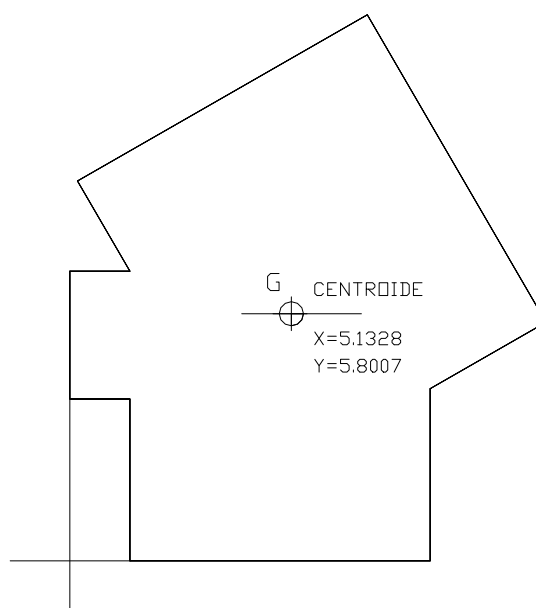
M_R: Momento Resultante

F_i: Fuerzas.

d_i: distancia al punto seleccionado.

2. Determinación del “centroide” por Autocad.

- Dibujar el perímetro de la losa con sus entrantes y salientes con una **POLILINEA**.
- Transformarlo en **REGION**
- Mover el UCS del dibujo (el punto al que se van a referir todas las coordenadas de nuestro dibujo) a la intersección entre los ejes que hemos adoptado como X e Y, desde el menú **herramientas** seleccionamos **mover UCS** y ubicamos sobre la pantalla el punto en nuestro dibujo.
- Típear el comando **MASSPROP** (ingles) o **PROPFIS** (CASTELLANO) y aparecerá una ventana de texto en la que, entre otros elementos, aparecen las coordenadas **X** e **Y** del centro de gravedad de la figura con respecto al sistema de ejes coordenados que hemos definido.



DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE RIGIDEZ

Antes de continuar con el propósito principal de este punto del desarrollo del trabajo, nos detendremos para hacer algunas consideraciones sobre conceptos que influirán en el **diseño en las construcciones de características sismorresistentes**.

Uno de ellos, posiblemente el principal, es el de considerar al edificio como una **“ménsula empotrada en el terreno”** ya que las fuerzas estáticamente equivalentes a la acción de un terremoto son, principalmente, horizontales. Es por esta razón que se aconseja estudiar y diseñar al edificio en tres dimensiones y no en dos (planta y vistas) . (Fig. 8)

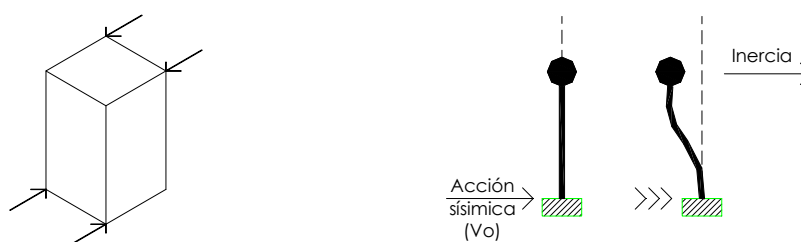


Figura 8 El edificio como una **ménsula empotrada** en el terreno.

Esta predisposición es saludable desde el punto de vista del diseño, no sólo para estudiar la estructura sino también para considerar todos los aspectos que van a conformar la arquitectura.

Como veremos más adelante, cuando propongamos variaciones en nuestro edificio, se verá claramente que es prácticamente imposible plantear éstas sin tener en cuenta

otros aspectos que influyen en el diseño (aspectos morfológicos, funcionales, tecnológico-constructivos, orientaciones, sistemas de movimientos, etc.)

Es aconsejable en toda esta etapa de **optimización del mecanismo estructural** trabajar con maquetas de estudio ya que pueden ser rápida y fácilmente adecuadas a los cambios que proponemos y queremos estudiar.

Otro concepto importante a tener en cuenta es el de **eficiencia estructural**². Éste puede considerarse alto cuando, desde el punto de vista de las acciones sísmicas, la participación de la torsión del conjunto es baja. **Esto significa que los planos portantes verticales no ven incrementados en demasía los esfuerzos que deben soportar por la acción horizontal debido a los efectos torsionales.**

Esto nos lleva a reconocer algunas propiedades de los mecanismos estructurales que tienen que ver con la torsión que está estrictamente ligada a un punto característico y propio que puede ser representado en planta y que llamamos **centro de rigidez**.

La torsión aparece y es importante cuando el punto donde suponemos, en teoría, aplicada la carga sísmica horizontal o **centro de gravedad** (CG) está alejado del **centro de rigidez** (CR). Esta distancia en planta entre ambos se llama **excentricidad** (e) y aunque sea nula, reglamentariamente, se estima un valor mínimo que más adelante aprenderemos a considerar. (Fig.9)

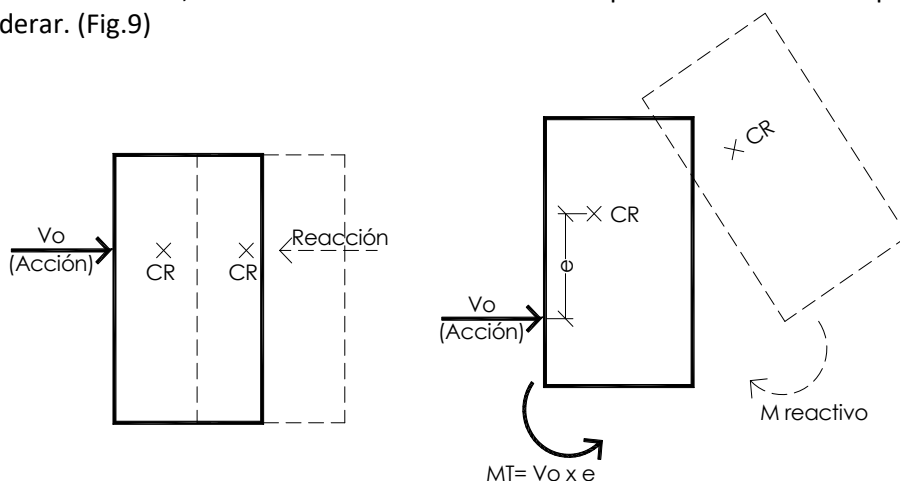


Figura 9 Solo Traslación

/ Traslación + Rotación.

El **centro de rigidez**, también llamado centro de torsión, tiene las siguientes propiedades:

- Toda fuerza cuya recta de aplicación pasa por él produce en el sistema **exclusivamente** traslaciones; si no es así, el sistema, además de trasladarse **rota**.

² Se recomienda la lectura del capítulo LA EFICIENCIA en “Intuición y Razonamiento en el Diseño Estructural”.- D. Moisset de Espanés. Ed. ESCALA- 1992 de donde tomamos esta definición del concepto de eficiencia: “Los recursos para construir cualquier obra son siempre limitados y también costosos. Es natural, entonces, que se procure alcanzar el máximo de objetivos con el mínimo de recursos. Así nace el concepto de eficiencia, como la relación entre los resultados obtenidos y los medios empleados.” –

- Todos los puntos del sistema **giran a su alrededor** cuando se aplica sólo un momento torsor en el sistema.

Debe tenerse en cuenta que la fuerza sísmica para cada edificio en particular, aproximadamente, es siempre la misma; pero ésta puede ocasionar mayores o menores efectos sobre los planos portantes verticales según la torsión del conjunto. En definitiva la excentricidad, o sea, la distancia entre los centros de masa o gravedad y de rigidez o torsión es una representación clara de este efecto, ya que el **momento torsor** es igual a la fuerza sísmica multiplicada por la excentricidad.

$$M_T = V_0 \times e$$

M_T: Momento Torsor

V₀: Corte basal (fuerza sísmica aplicada en la base de la construcción.

e : excentricidad

Por lo tanto creemos importante que, antes de realizar ningún desarrollo numérico, es necesario asegurarnos que la excentricidad sea reducida. De esta manera nos cercioramos que los planos portantes no soporten esfuerzos extraordinarios adicionados por efecto de la torsión.

Por supuesto y volviendo a la determinación de ambos centros, ésta puede presentar algunas dificultades al comienzo. No obstante, con la práctica y un poco de experiencia se pueden intuir con suficiente aproximación sus ubicaciones; al menos, de manera suficiente para el momento en que esbozamos los primeros trazos de una idea.

El primer paso para determinar el centro de rigidez es el de seleccionar los planos portantes verticales. Dicha selección está directamente relacionada con el diseño arquitectónico por lo que es muy importante conocer las condicionantes de los mismos desde los primeros momentos del proceso de diseño.

CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA SISMORRESISTENTE

El diseño de una construcción sismorresistente de mampostería requiere de habilidades y conocimientos relacionados con las solicitaciones sísmicas y gravitatorias, el diseño estructural y las características de los muros que participan conformando la estructura.

En esta oportunidad, sólo nos vamos a referir a muros encadenados y construcciones de un nivel.

¿POR QUÉ CONSTRUCCIÓN DE MAMPOSTERÍA EN ZONA SÍSMICA?

Existen diferentes razones que llevan en nuestro medio a seleccionar esta tecnología para ejecutar obras de pequeña y mediana escala. Las principales pueden ser:

- Material económico y relativamente fácil de construir, en nuestro medio.
- Material muy utilizado en la construcción tradicional de edificios de habitación.
- Existe una mano de obra hábil y conocedora de las técnicas constructivas.
- *Es un material con capacidad* para resistir esfuerzos gravitatorios y sísmicos, cuenta con una normativa que lo certifica.

HIPOTESIS DE TRABAJO

Para iniciar el diseño y/o análisis de este tipo de estructuras sometidas a esfuerzos horizontales debemos considerar las siguientes hipótesis de trabajo:

- El edificio es una **MÉNSULA EMPOTRADA** en el suelo, sometido a fuerzas estáticamente equivalentes a la acción sísmica.
- El **PLANO SUPERIOR** tiene **RIGIDEZ INFINITA** y en él las cargas están distribuidas homogéneamente.
- Los planos resistentes verticales (por lo menos tres, no todos concurrentes, ni todos paralelos o un volumen) vinculan el plano superior y el plano inferior del suelo. Garantizar el **MECANISMO MINIMO ESTABLE**.

ESTUDIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE MAMPOSTERÍA EN ZONA SÍSMICA

DETERMINACION DE LAS SOLICITACIONES SÍSMICAS EN CONSTRUCCIONES DE MAMPOSTERÍA

Sabemos que el movimiento del suelo, debido a la acción sísmica, genera fuerzas de inercia en las construcciones. Estas, al igual que cualquier otra fuerza, resultan del producto de una masa, que es la correspondiente a la construcción, por una aceleración, que es la inducida en el edificio por el sismo.

En construcciones de un nivel podemos suponer que la masa a considerar es la correspondiente a la cubierta con los pesos que descansan sobre ella, como el tanque de agua, y la correspondiente a la mitad superior de todos los muros que están conectados a la losa.

Aclaremos que todo lo que se expresa es válido solo si existe un plano superior, horizontal o inclinado, lo suficientemente rígido como para distribuir la fuerza sísmica entre los muros según la rigidez de los mismos.

Dado que es más común la evaluación de pesos que la de masas, y siendo que estos valores se relacionan entre sí por la aceleración de la gravedad, es que trabajaremos con pesos en lugar de masas, teniendo en cuenta dicha constante en el coeficiente sísmico.

Las construcciones que estamos considerando son sumamente rígidas, por lo que se mueven junto con el terreno, a diferencia de lo que puede suceder en los edificios de más altura. Por ello es que la llamada pseudoaceleración, que es la aceleración que el sismo induce a la construcción dividida por la aceleración de la gravedad, coincide con la aceleración (respecto a la gravitatoria) a la cual se mueve el terreno.

De modo que en cada zona sísmica la pseudoaceleración coincide con el origen del espectro, o sea con el valor correspondiente a un período nulo.

El coeficiente sísmico se obtiene multiplicando el valor de pseudoaceleración (depende la zona sísmica, la altura de la construcción y el tipo de suelo) por el factor de riesgo que, como se vio previamente, tiene en cuenta el destino del edificio y dividido por la reducción por ductilidad (depende del tipo de planos resistentes verticales).

La reducción por ductilidad considera que la estructura posee capacidad de deformación en el rango inelástico. En el caso de la mampostería esta capacidad es inexistente, resultando aún más frágil en el caso de bloques, por lo que trabajará elásticamente, sin reducción.

DETERMINACION DE LA MASA VIBRANTE o PESO DE LA CONSTRUCCION

El análisis del peso de la construcción debe hacerse determinando el peso del techo completo (incluyendo tanque de agua, chimeneas, etc.) y sumarle el peso de la mitad de los muros portantes y tabiques divisorios.³

El CIRSOC 103 admite que el valor de la sobrecarga sobre el techo o el entrepiso puede ser disminuido por un **Factor de Simultaneidad** η . Dicho factor se establece en base a consideraciones de tipo probabilísticas. Los valores mínimos para los casos usuales se indican en el Reglamento⁴.



$$W_i = \text{Sup.} \times (q_D + (q_L \times \eta)) + \text{PESO DE } \frac{1}{2} \text{ MUROS} + \text{PP VIGAS} + \text{PP } \frac{1}{2} \text{ COL} + \text{PESO DEL TANQUE DE AGUA}$$

Peso de los muros = $\frac{1}{2}$ vol muros x p_e de la mampostería

<https://www.youtube.com/watch?v=n5F6e-cwU4U>

² Ver “período del edificio”, de Sismología y gráficos de pseudoaceleración correspondientes a cada zona sísmica.

³ Se toma la mitad del valor porque supone que sólo la parte superior de los muros constituye la **masa vibratoria** del edificio.

⁴ Ver en PLANILLA **DISTRIBUCION** V_o la Tabla del Factor de Simultaneidad, o en INPRES – CIRSOC 103, Parte I – Capítulo 3.6

DETERMINACION DEL CORTE BASAL V_0

El esfuerzo provocado por el movimiento sísmico a nivel de suelo, se denomina **Corte Basal** y su nomenclatura es la siguiente: V_0

Como ya se explicó anteriormente, el mismo está directamente relacionado con el peso de la construcción o masa vibrante W_i multiplicada por el Coeficiente Sísmico C .

$$V_0 = C \times W$$

$$W = \sum_{i=1}^n W_i$$

COEFICIENTE SISMICO DE DISEÑO

El coeficiente sísmico de diseño se puede determinar por el método simplificado siempre que la construcción cumpla con los límites de aplicación y condiciones geométricas definidas en el reglamento CIRSOC 103 PARTE I– CAPITULO 4.

• MÉTODO SIMPLIFICADO

$$C = C_{nm} \times \delta D$$

Zona Sísmica	C_n
1	0,23
2	0,38
3	0,44
4	0,50



Coef. Sísmico = Coef. Sísmico Normalizado x Factor de Riesgo

http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/INPRES-CIRSOC-103_Parte_I-Reglamento.pdf

MÉTODO ESTÁTICO EQUIVALENTE

$$C = 2,5 C_a \gamma_r / R \quad \text{PARA } T_0 \leq T_2$$

$$C = S_a \gamma_r / R \quad \text{PARA } T_0 \geq T_2$$

$$C \geq 0,8 a_s \cdot N_v / 8 \quad \text{ZONA 3y4}$$

$$C \geq 0,11 C_a \gamma_r \quad \text{ZONA 0,1y2}$$



Donde el coeficiente sísmico además de depender del tipo de suelo y zona sísmica, se ve afectado por Factores de Comportamiento de la construcción (valores de reducción, amplificación y sobrerresistencia) que dependen del tipo estructural y el tipo de mampuesto. (Fig 9)

Mater.	N°	Tipo Estructural	R	C _d	Ω _o	
Estructuras de mampostería	Ladrillos Cerámicos Macizos					
	8	Encadenada simple	3	2,3	2,5	
	9	Encadenada armada	3,5	2,5	2,5	
	10	Reforzada con armadura distribuida	4	3	2,5	
	11	Sin encadenados	1,5	2	2	
	Bloques Huecos Portantes Cerámicos					
	12	Encadenada simple	2	2,3	2,5	
	13	Encadenada armada	2,5	2,5	2,5	
	14	Reforzada con armadura distribuida	3	3	2,5	
	Bloques Huecos Portantes de Hormigón					
	15	Encadenada simple	2,5	2,3	2,5	
	16	Encadenada armada	3	2,5	2,5	
	17	Reforzada con armadura distribuida	3,5	3	2,5	

Donde

R factor de reducción global.

C_d factor de amplificación de deformaciones

Ω_o factor de sobrerresistencia

DISTRIBUCIÓN DE V0

El esfuerzo horizontal que suponemos aplicado a nivel del plano superior llega a la cimentación a través de los muros resistentes, colaborando cada uno de ellos en proporción a su rigidez traslacional, su ubicación en la planta y su aporte a la rigidez torsional del conjunto..

ESQUEMA A – SOLO TRASLACIÓN

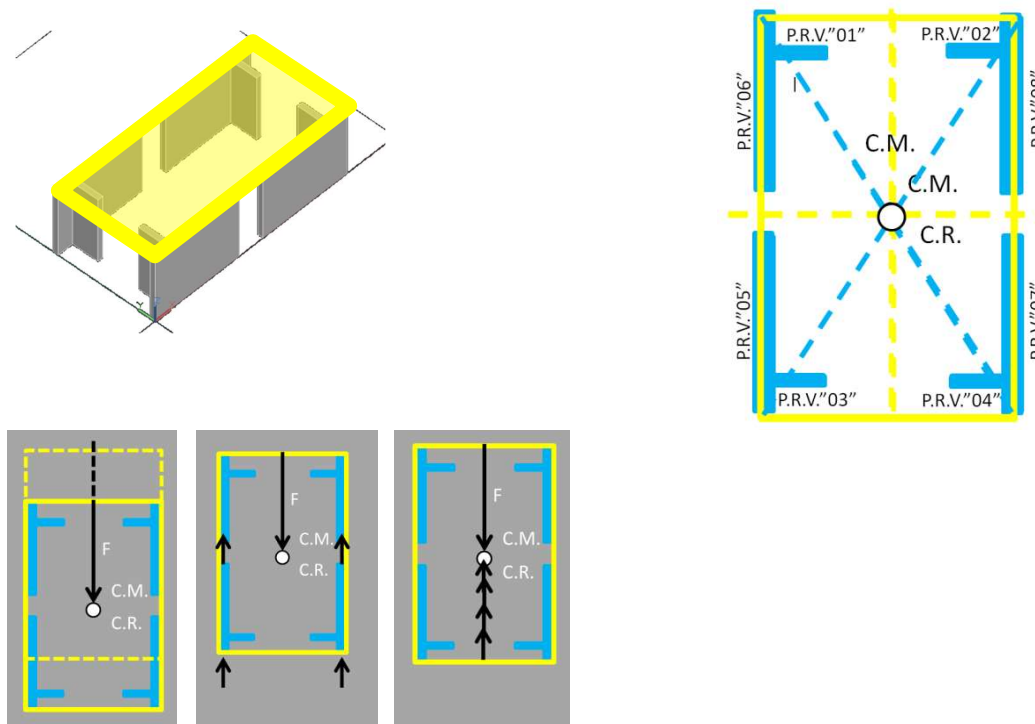
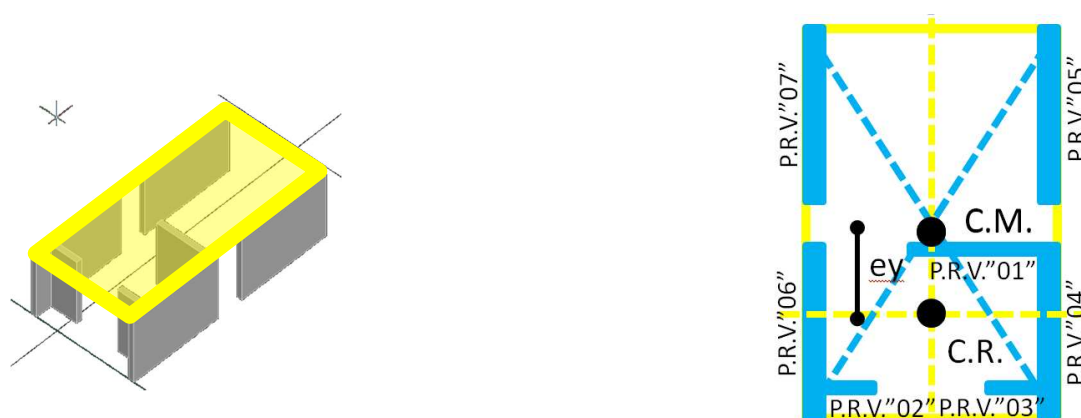


Figura 10 Esquema estructural solo traslación

La fuerza F aplicada en el C.M. Produce SOLO TRASLACIONES al no existir excentricidades iniciales. Cada uno de los muros APTOS reaccionan para oponerse a la fuerza en proporción a su rigidez y a su distancia al C.R.

Estos muros estarán solicitados a CORTE DIRECTO.

ESQUEMA B – TRASLACIÓN + ROTACIÓN



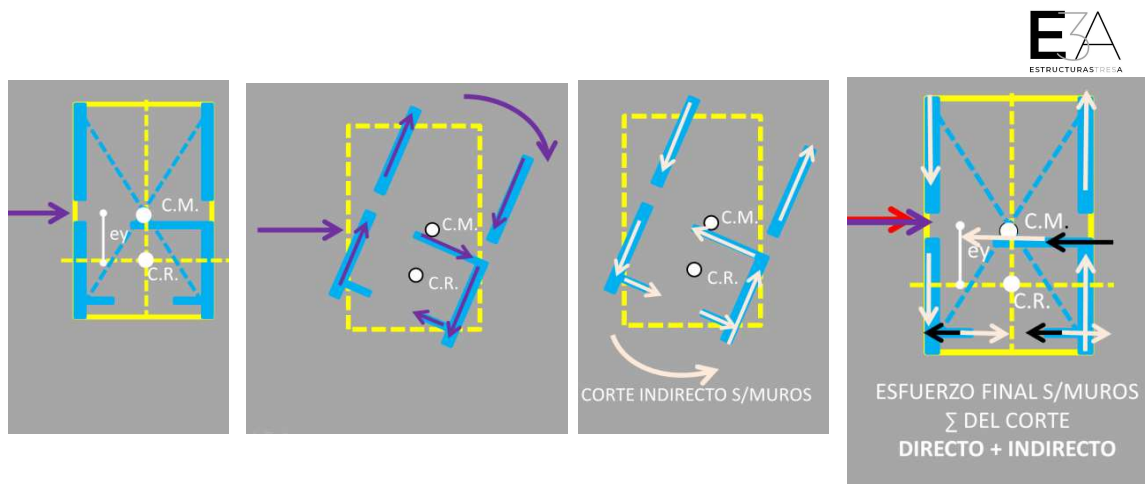


Figura 11 Esquema Estructural Traslación + Rotación

La fuerza F aplicada en el CM. Produce TRASLACIONES Y ROTACIONES al existir excentricidades iniciales.

Existirán algunos muros con mayores solicitaciones debido a la TORSION

PLANOS RESISTENTES VERTICALES DE MAMPOSTERIA

[http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/INPRES-CIRSOC-103 Parte I-Reglamento.pdf](http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/INPRES-CIRSOC-103_Parte_I-Reglamento.pdf)



Como se explicó anteriormente, es responsabilidad del proyectista de la obra de arquitectura diseñar el mecanismo resistente, buscando la mayor eficiencia del conjunto, es decir evitando los esfuerzos de corte indirecto, devenidos de un planteo con torsión excesiva. Es en esta etapa de proyecto donde se definen las dimensiones de los espacios y en consecuencia, la posición y dimensiones de los planos resistentes que garantizaran la estabilidad antes cargas gravitatorias y sísmicas.

Lo importante a saber es:

Todo plano **portante** para cargas gravitatorias tiene que ser **sismorresistente**, esto quiere decir que tiene que ser apto para soportar esfuerzos horizontales (tendrá encadenados, dimensiones mínimas, etc.) Si no cumple esta condición **no debe ser tenido en cuenta para soportar cargas gravitatorias** o verticales.

Todo plano vertical que esté vinculado a la losa, tenga las dimensiones mínimas de un plano sismorresistente y esté construido con materiales aptos para este tipo de planos, será solicitado por las fuerzas sísmicas y **tendrá que soportar** esfuerzos horizontales. Por lo que todo plano que esté en estas condiciones y, por alguna razón, no se desee su colaboración para la absorción de fuerzas sísmicas **no podrá asignársele capacidad para soportar cargas verticales** y deberá **desvincularse** de la losa.

MECANISMO RESISTENTE DE LOS MUROS ENCADENADOS

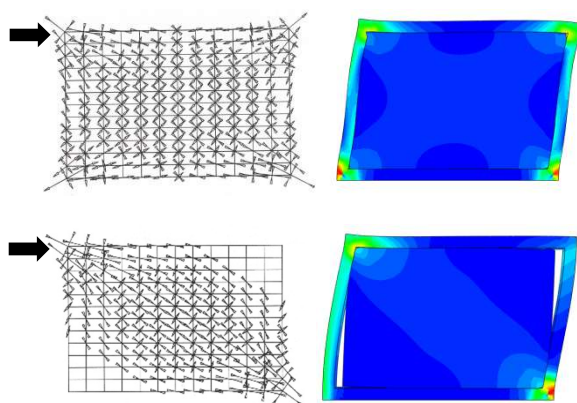
<https://www.youtube.com/watch?v=sQlw6ST-B9A>

(Video elaborado con ensayos de modelos de muros de mampostería encadenada- Ing Alberto Elicabe)



La fuerza de inercia debida a la acción sísmica se supone ubicada a nivel de losa, desde la cual se distribuye entre los planos resistentes en función de la rigidez que cada uno posee respecto al desplazamiento que se produce.

La acción horizontal correspondiente a un muro resistente debe ser transmitida desde su coronamiento hasta la cimentación. El proceso consiste en concentrar la fuerza de corte, por medio del encadenado superior, en los nudos que conforman triangulaciones aptas para el sentido del corte actuante. Una vez en el nudo se descomponen en una acción vertical, que es resistida por el encadenado vertical, y una inclinada que produce compresiones en la mampostería.



En estado elástico la mampostería presenta una distribución de tensiones de tracción y compresión bastante uniforme. Su resistencia es muy baja.

Si aumenta la carga, se produce la fisuración y el despegue del panel respecto de los encadenados verticales. Se manifiesta el modelo de bielas.

Es decir que, cuando un muro encadenado es solicitado frente a acciones horizontales, el esfuerzo de corte que resiste, se descompone entre los encadenados, que trabajan solamente a tracción, y la mampostería que toma los esfuerzos de compresión. (Fig 13)

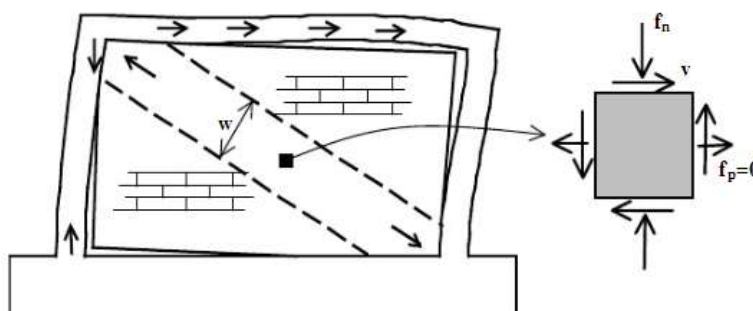


Figura 12 Esquema de descomposición de fuerzas en un muro encadenado

Este esquema se puede traducir en el modelo de biela y tensor, permite encontrar en forma sencilla los esfuerzos en los encadenados, para luego proceder al dimensionado de armaduras a tracción, estribos para tomar el corte próximo a los nudos y verificar las tensiones de compresión de la mampostería. (Fig. 12)

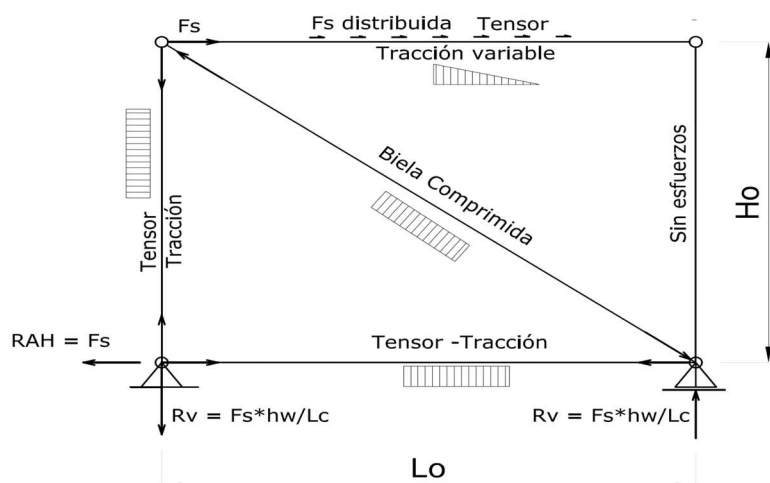


Figura 13 Modelo de biela y tensor

Fs: Fuerza sísmica

hw: altura del muro / distancia entre ejes de encadenados horizontales

Lo: longitud del muro

Dado que la mampostería actúa brindando las diagonales de este reticulado ideal, es conveniente que estas estén aproximadamente a 45°, lo que explica las condiciones exigidas en las relaciones L/H y H/L que imponen la necesidad de emplear encadenados intermedios. (Fig 15)

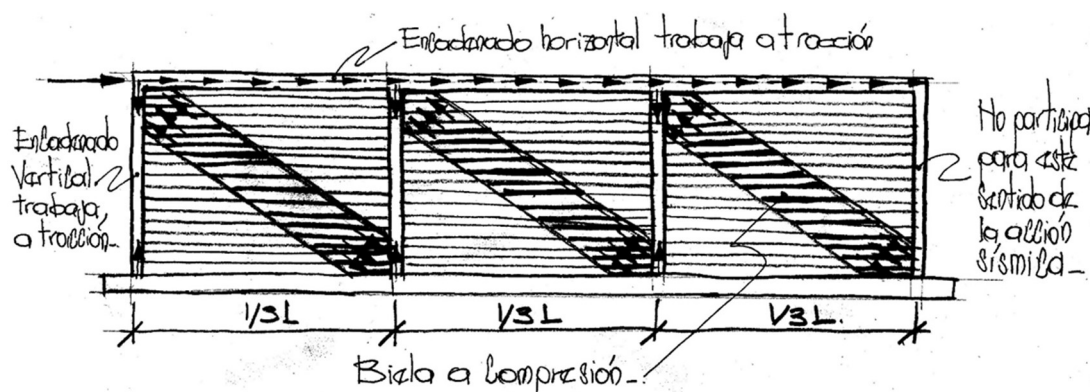


Figura 15 Muro con encadenados verticales intermedios.

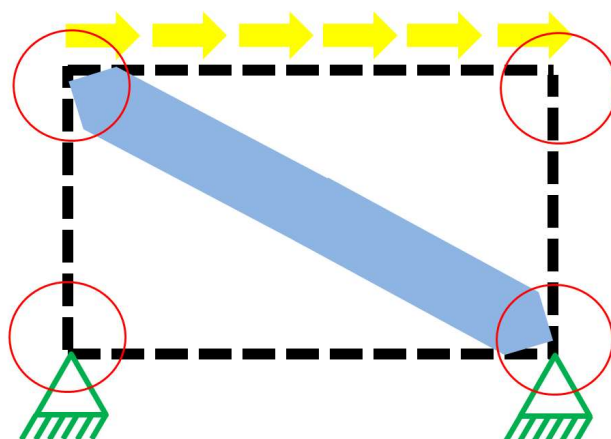


Figura 14 Zonas de densificación de estribos para el corte

SELECCIÓN DE MUROS RESISTENTES

<https://www.youtube.com/watch?v=gyUIID5YFYk&feature=youtu.be>



Para ser considerado resistente el muro debe cumplir una serie de requisitos que se enumeran a continuación:

- 1) Sus mampuestos deben cumplir condiciones de resistencia, espesor, traba y área transversal mínima.
- 2) El mortero debe tener alguna de las resistencias reglamentarias. (Los morteros más resistentes tienen el inconveniente de ser también más rígidos). *Figura 15 Muro subdividido en tres paneles.*
- 3) Los muros deben tener un largo mínimo, el que depende de sus vinculaciones con otros muros y de su altura, estar encadenados y tener un espesor mínimo.
- 4) Los encadenados deben ubicarse en el perímetro del muro y, cuando superan dimensiones o superficies establecidas, subdividirlo en paneles.
- 5) Los encadenados deben tener dimensiones mínimas reglamentadas.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MUROS RESISTENTES VERTICALES

- CLASIFICACION DE LA MAMPOSTERÍA

• Tipo M.1.: Ladrillo Cerámico Macizo Encadenado Simple. • Tipo M.2.: Ladrillo Cerámico Macizo Encadenado Armado. • Tipo M.3.: Ladrillo Cerámico Macizo Reforzado (Armadura Distribuida).	
• Tipo M.4.: Bloque Hueco Portante Cerámico Encadenado Simple. • Tipo M.5.: Bloque Hueco Portante Cerámico Encadenado Armado. • Tipo M.6.: Bloque Hueco Portante Cerámico Reforzado (Armadura Distribuida).	
• Tipo M.7.: Bloque Hueco Portante de Hormigón Encadenado Simple. • Tipo M.8.: Bloque Hueco Portante de Hormigón Encadenado Armado. • Tipo M.9.: Bloque Hueco Portante de Hormigón Reforzado (Armadura distribuida).	
• Tipo M.10.: Ladrillo Cerámico Macizo Común (sin encadenados verticales). Solamente utilizable en zonas sísmicas 1 y 2 en muros interiores, si se cumplen los requisitos establecidos en los Capítulos 2, 3 y 6 de esta PARTE III del Reglamento.	

- ESPESORES MINIMOS DEL MAMPUESTO

- Ladrillos cerámicos macizos: 27 cm (Se admiten de un espesor de 13 cm en zonas 1 y 2)
- Bloques huecos portantes cerámicos: 18 cm
- Bloques huecos portantes de hormigón: 19 cm

- RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS MAMPUESTOS

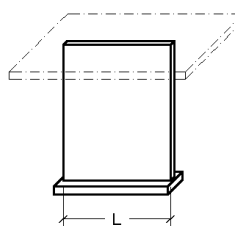
-Ladrillo Cerámico Macizo	$f_u \geq 5 \text{ MPa}$ (Sección Bruta)
-Bloque Hueco Portante	$f_u \geq 5,5 \text{ MPa}$ (Sección Bruta)

- **MORTEROS**

Los morteros utilizados en la ejecución de las juntas horizontales y verticales de los elementos estructurales de mampostería, se tipifican en función de su resistencia mínima a compresión a 28 días.

- **LARGO MÍNIMO DE LOS MUROS**

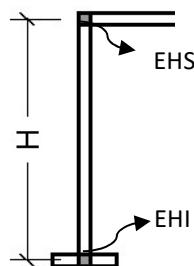
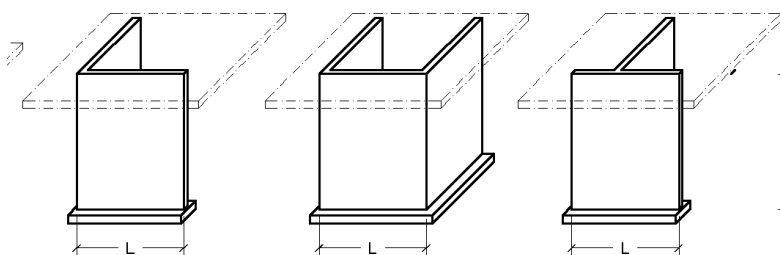
Se consideran dos situaciones: la primera cuando el muro está fijado solo en su coronamiento y en su fundación, caso en que se lo denomina aislado; la segunda es cuando a los vínculos anteriores se agrega su unión a otro muro el que también debe cumplir con la condición de largo mínimo.



Muro aislado

$$L \geq \frac{H}{2.2} \text{ ó } 1,50\text{m}$$

**AMBAS
CONDICIONES
DEBEN
CUMPLIRSE**



Muros vinculados

$$L \geq \frac{H}{2.6} \text{ ó } 0,90\text{m}$$

Habitualmente para los muros aislados es más exigente la condición de largo superior o igual a 1,50 m y para los vinculados la de $L \geq H/2,6$.

La clasificación de los muros resistentes puede consultarse en el Capítulo 7. 3 del Cirsoc 103- parte III, aquí sólo nos vamos a referir a la mampostería encadenada “simple”, es decir sin armadura adicional en las juntas.

Los muros de espesor menor a 27 cm en ningún caso podrán tener canalizaciones para instalaciones destinadas a la distribución de agua, gas, electricidad, etc.

- ALTURAS MAXIMAS DE MUROS Y NÚMEROS DE PISOS

Tabla 3.1. Alturas máximas h_n y número máximo n de pisos en las construcciones de mampostería

Muros resistentes		Zonas sísmicas 1 y 2		Zonas sísmicas 3 y 4		
Tipo de mampuesto	Tipo de muro	Altura máxima h_n (mm)	Nº máximo de pisos n	Altura máxima h_n (mm)	Nº máximo de pisos n	
Ladrillos cerámicos macizos	M.1. Encadenado Simple	12,50	4	9,50	3	
	M.2. Encadenado Armado	15,50	5	12,50	4	
	M.3. Reforzado con Armadura Distribuida	15,50	5	12,50	4	
Bloques huecos portantes cerámicos	M.4. Encadenado Simple	9,50	3	6,50	2	
	M.5. Encadenado Armado	9,50	3	6,50	2	
	M.6. Reforzado con Armadura Distribuida	12,50	4	9,50	3	
Bloques huecos portantes de hormigón	M.7. Encadenado Simple	9,50	3	6,50	2	
	M.8. Encadenado Armado	9,50	3	6,50	2	
	M.9. Reforzado con Armadura Distribuida	12,50	4	9,50	3	
Ladrillos cerámicos macizos	M.10. Sin Encadenados Verticales	6,50 ⁽¹⁾	2 ⁽¹⁾	---	---	
		3,50	1			

⁽¹⁾ La construcción completa se debe verificar adoptando un coeficiente sísmico igual al cuádruplo del correspondiente a una situación normal.

Figura 16 Tabla 3.1 CIRSOC 103 PIII

UBICACIÓN DE ENCADENADOS

Una vez definidos los muros que van a formar parte del mecanismo resistente de la estructura del proyecto, se debe generar una planta o esquema estructural donde se identifiquen dichos muros, armado de losas, columnas y vigas si fuera necesario. Y es en este momento donde se debe definir la ubicación de los encadenados verticales y horizontales en cada uno de los muros aptos.

Los encadenados pueden ser verticales, horizontales (superior, inferior o intermedio) o inclinados, y los primeros pueden a su vez ser perimetrales, de encuentro de muros o intermedios.

El encadenado horizontal superior se ubica a nivel de la losa (no por debajo de ella). En los casos de techos inclinados, cuando el ángulo de inclinación supera los 15°, se coloca un encadenado horizontal adicional.

El encadenado horizontal inferior se puede incluir en la plantilla o zapata corrida o bien ejecutarse sobre el cimiento si se trata de hormigón ciclópeo.

Los encadenados verticales se colocan en los extremos del muro y en su encuentro con otros muros resistentes.

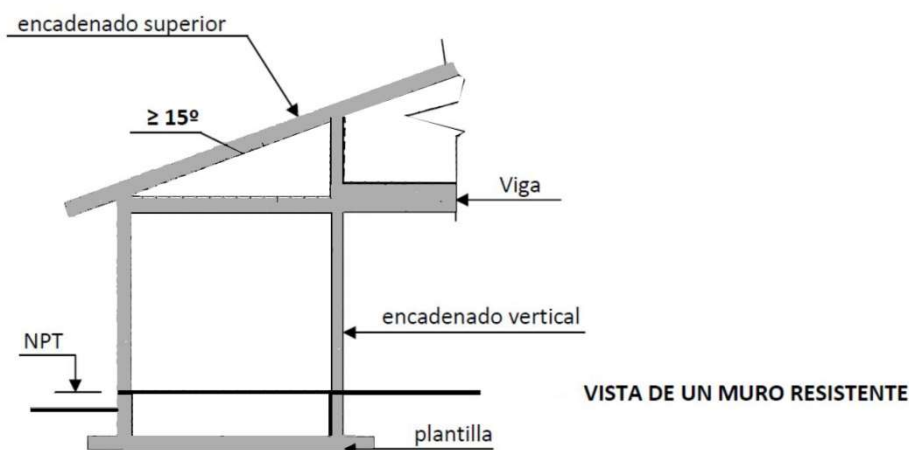
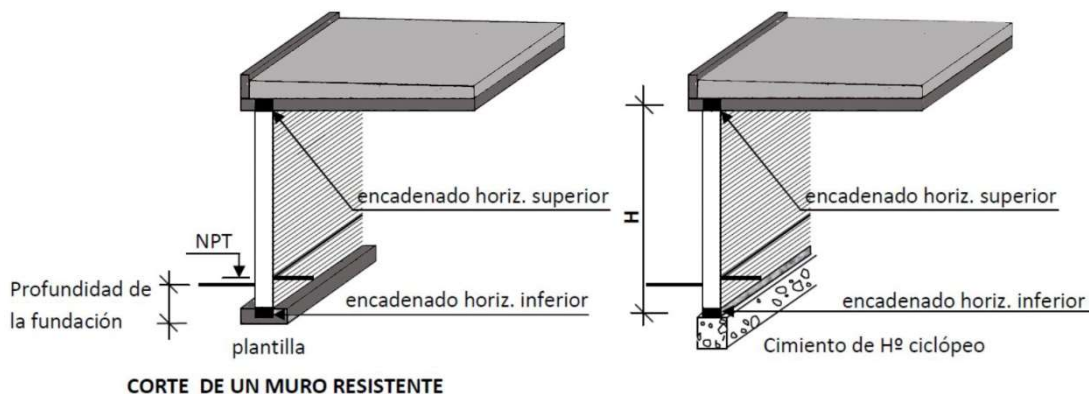


Figura 17 Ubicación de encadenados en corte y en vista

ÁREAS MÁXIMAS Y DIMENSIONES MÁXIMAS DE PANELES DE MUROS RESISTENTES DE MAMPOSTERÍA.

Además se requieren encadenados intermedios ubicados de modo que se cumplan con las siguientes condiciones:

- La superficie y dimensión máxima de cada panel constitutivo del muro debe cumplir con lo estipulado en función de su espesor y la zona sísmica en la que se localiza la construcción.
- La relación L/H de cada panel en que los encadenados verticales intermedios dividen al muro debe resultar ≤ 2 .
- La relación H/L debe resultar $\leq 1,5$. (Se puede reemplazar el encadenado horizontal intermedio por una junta armada).

Zona Sísmica	Área Máxima del panel (m ²)	Dimensión máxima del panel (m)	
		muros de espesor neto $\geq 180 \text{ mm}$	muros de espesor neto $< 180 \text{ mm}$ y $\geq 120 \text{ mm}$
1	30	7,00	4,50
2	25	6,00	4,00
3 y 4	20	5,00	4,00

Figura 18 Tabla de dimensiones max de panel CIRSOC 103 PIII

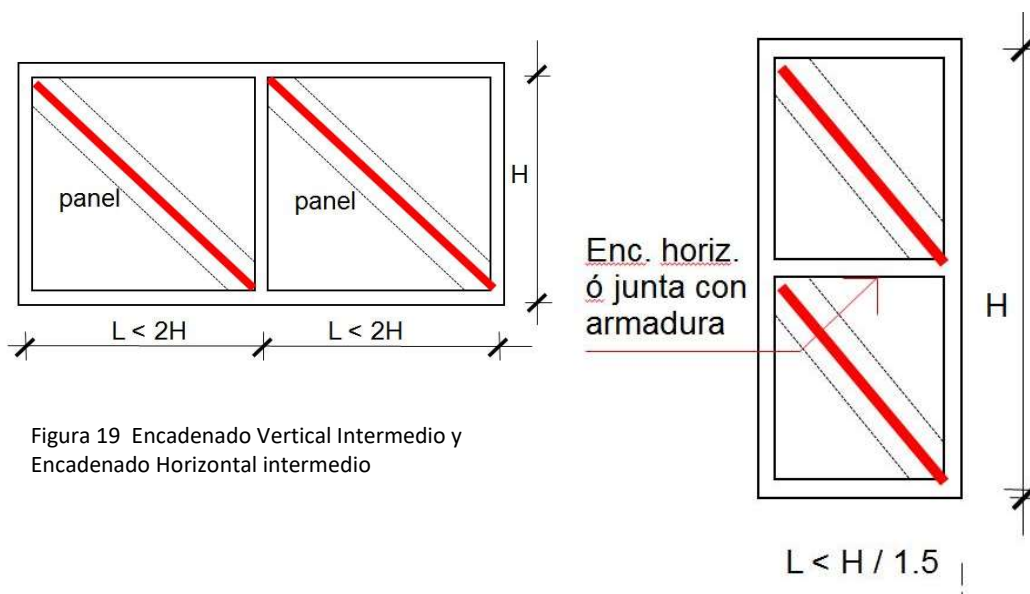


Figura 19 Encadenado Vertical Intermedio y Encadenado Horizontal intermedio

DIMENSIONES DE LOS ENCADENADOS

http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/INPRES-CIRSOC-103_Parte_III-Reglamento.pdf



- Los encadenados verticales de encuentro de muros resistentes serán de sección rectangular de lados respectivamente iguales a los espesores de los muros que confinan, pero el lado menor será, como mínimo, igual a dos tercios del espesor mayor y en ningún caso menor que 15 cm.
- Los encadenados verticales que no correspondan a encuentro de muros serán de sección rectangular, en la que el lado perpendicular al plano del muro será igual al espesor de éste y el otro será, como mínimo, igual a dos tercios de dicho espesor y en ningún caso menor que 15 cm.
- En el caso de muros resistentes de espesor igual o mayor que 20 cm, la dimensión perpendicular al plano del muro del encadenado vertical, podrá reducirse por razones estéticas, de aislación térmica, etc., en no más de un tercio del espesor del muro, siempre que se aumente la otra dimensión de forma tal que se restituya el área de la sección a los valores que resultan de la aplicación de los puntos a) ó b) precedentes.

SECCION TRASNVERSAL DE ENCADENADOS VERTICALES (en planta)

Se grafican a continuación los casos habituales:

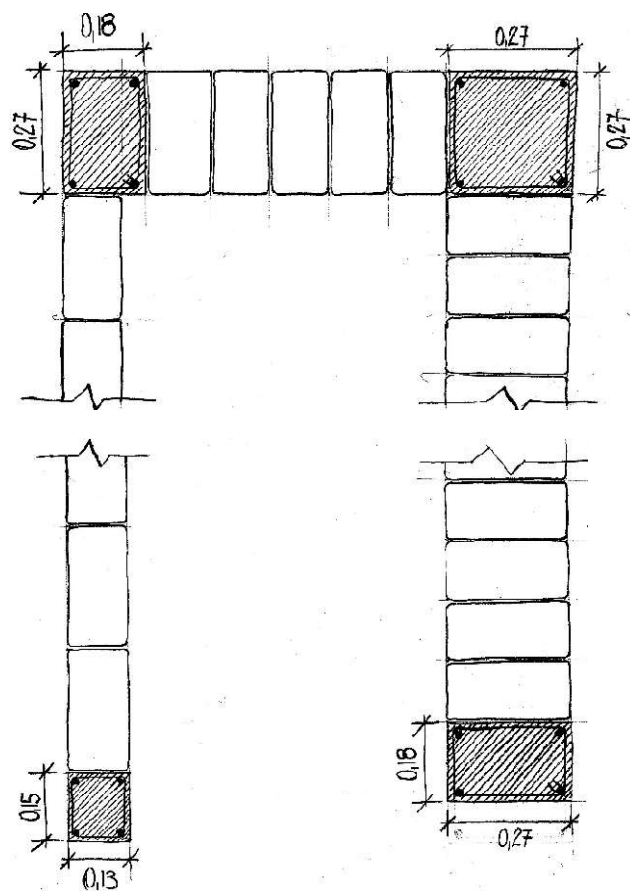


Figura 20 Encadenados Verticales en muros de ladrillo macizo

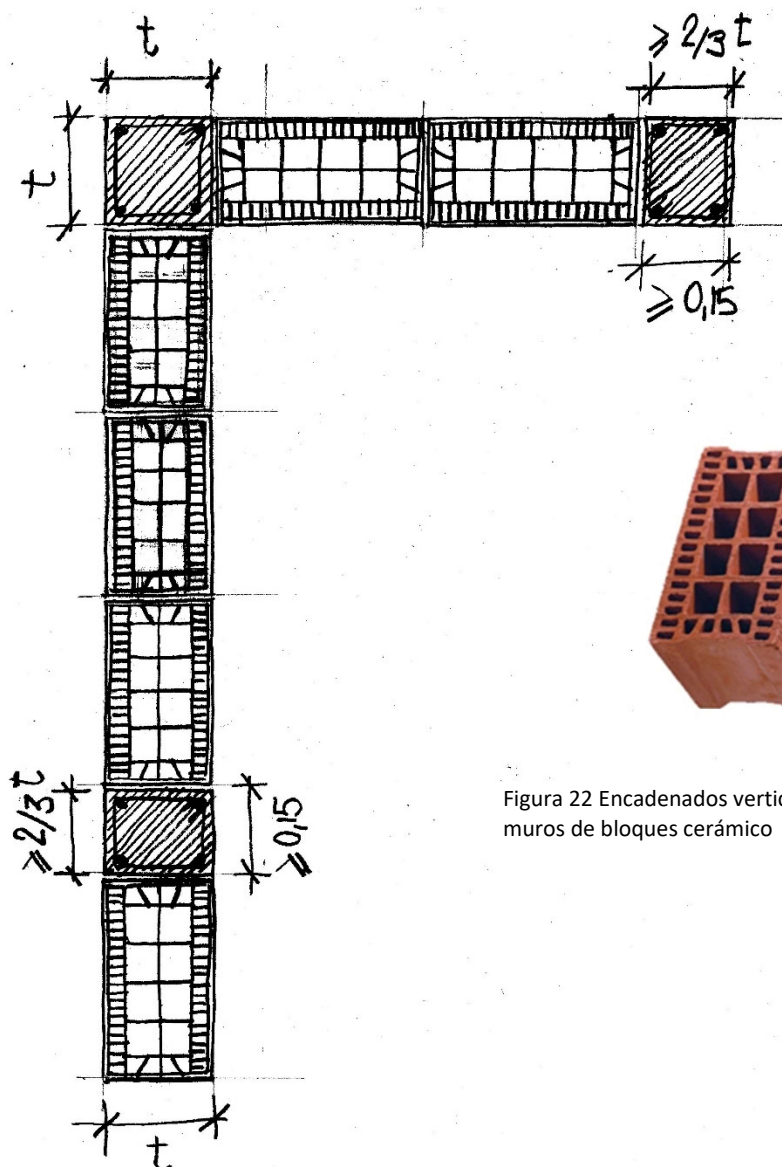
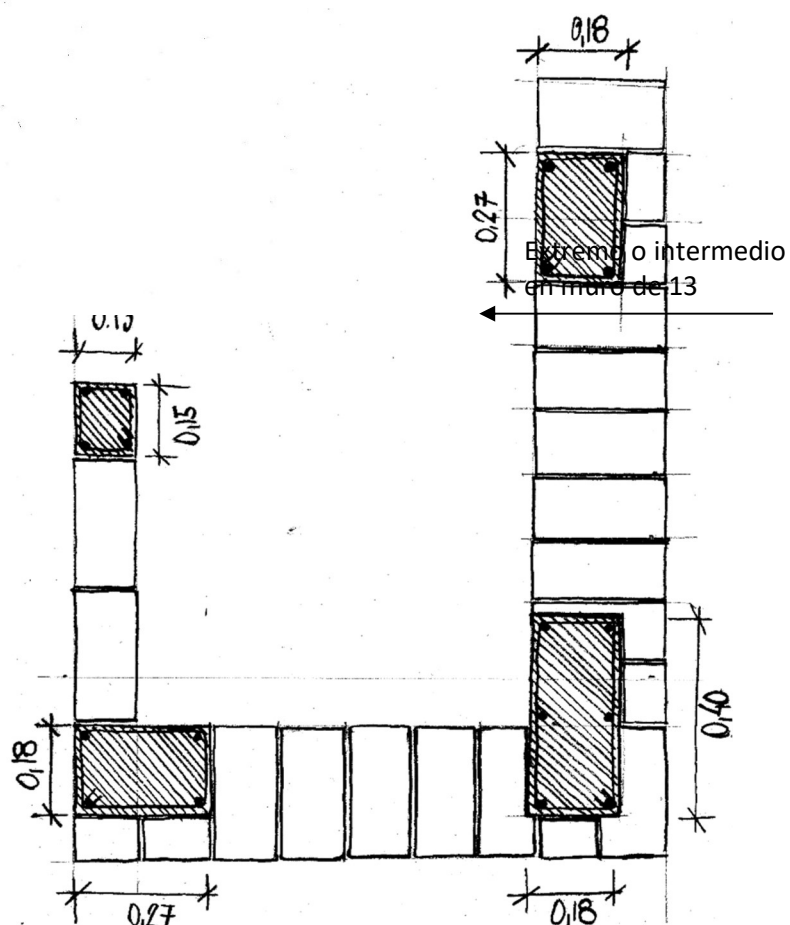


Figura 22 Encadenados verticales en muros de bloques cerámico portantes



Figura 21 Encadenados verticales en muros de ladrillo macizo visto



SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS ENCADENADOS HORIZONTALES (en corte)

a) Los encadenados horizontales serán de sección rectangular de ancho igual al espesor del muro que confinan y de altura mínima igual al semiespesor de dicho muro, pero no menor que 15 cm. ✓

En las zonas sísmicas 1 y 2, cuando se utilicen losas macizas de hormigón armado, la altura mínima del encadenado horizontal será de 10 cm.

b) En el caso de muros resistentes de espesor igual o mayor que 20 cm, el ancho del encadenado horizontal podrá reducirse por razones de terminación, de aislación térmica, etc., en no más de un tercio del espesor del muro, siempre que la altura se aumente de forma tal que se restituya el área de la sección a los valores que resultan de la aplicación del punto a) precedente.

DETALLES EN MURO DE LADRILLO COMUN

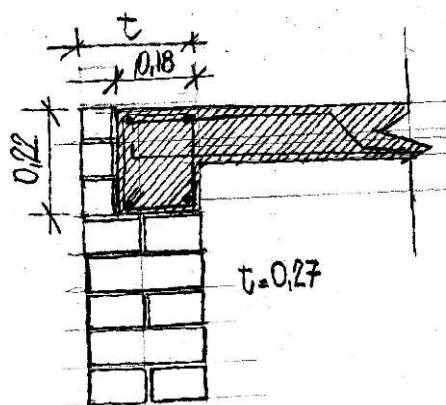
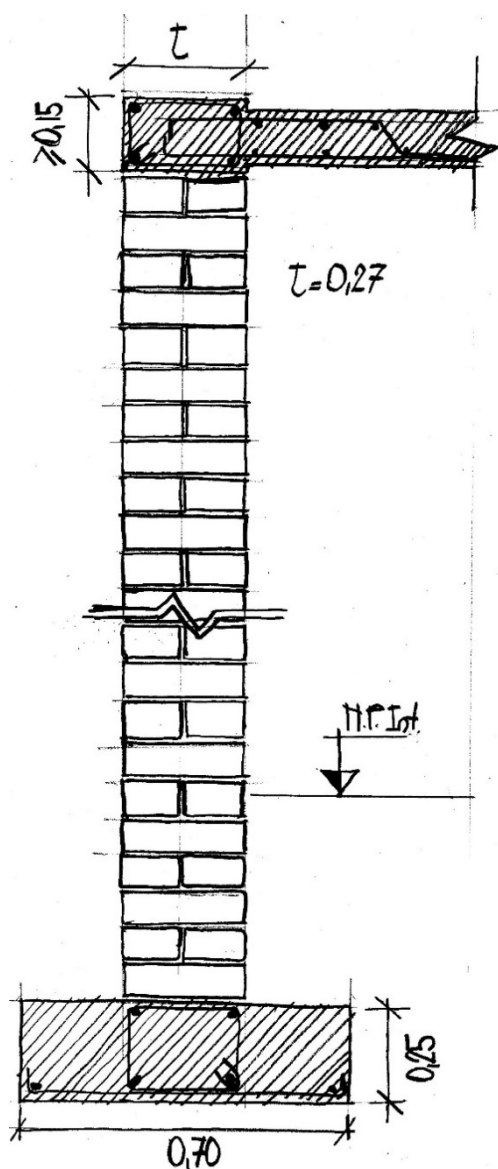


Figura 23 Encuentro Encadenado horizontal superior y losa maciza

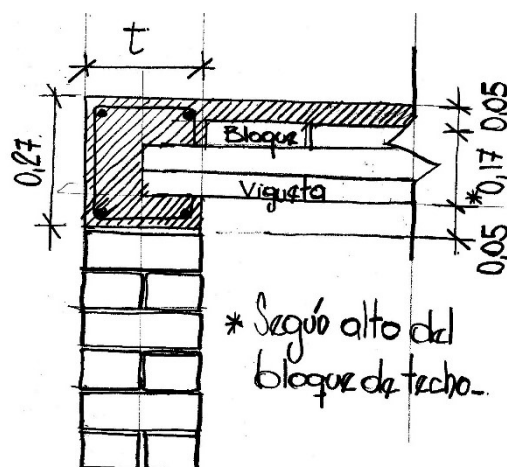


Figura 24 Encuentro Encadenado horizontal superior y losa viguetas

DETALLES EN MURO LADRILLO CERAMICO HUECO / BLOQUE DE HORMIGON

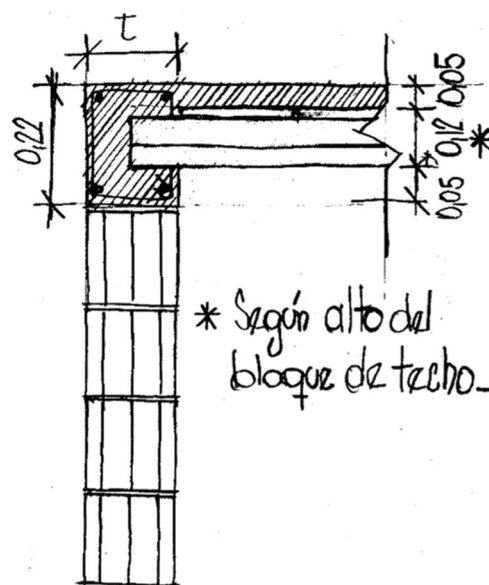
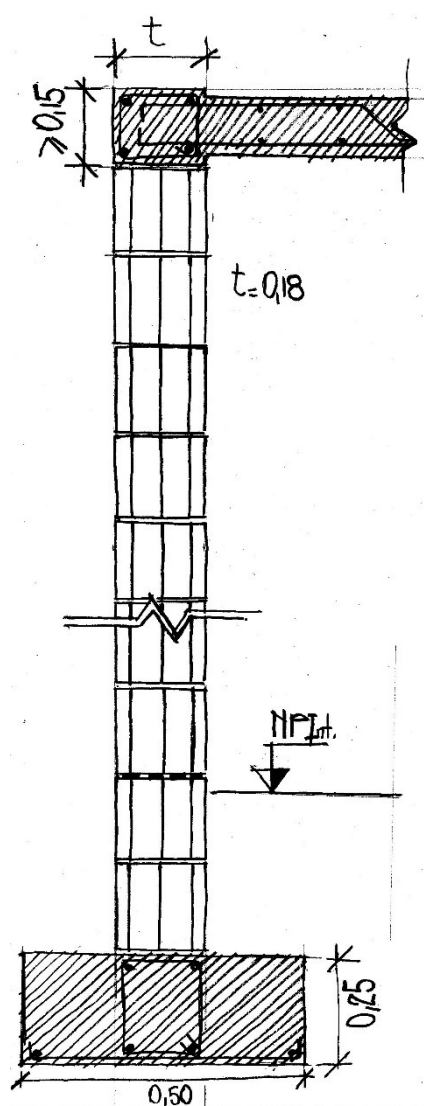
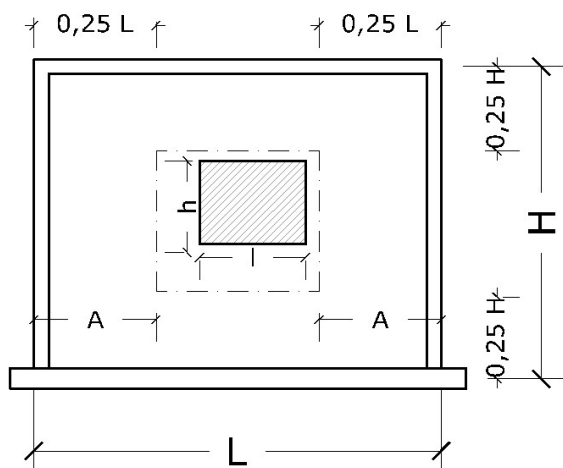


Figura 25 Encuentro Encadenado horizontal superior y losa viguetas

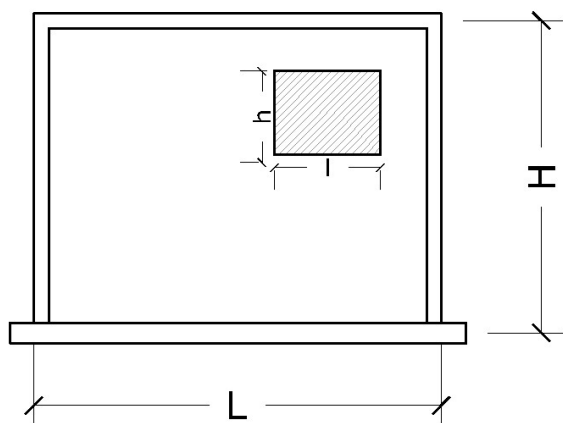
ABERTURAS QUE NO REQUIEREN ENCADENADOS VERTICALES



Aberturas centradas en el panel

4. $h \leq 0,35H$
5. $l \leq 0,35 L$
6. $h \times l \leq 0,10 H \times L$
7. $A \geq 0,90$

La abertura se ubica dentro del área delimitada con línea de trazo



Aberturas descentradas en el panel

1. $h \leq 0,25H$
2. $l \leq 0,25 L$
3. $h \times l \leq 0,05 H \times L$

EMPALMES Y ANCLAJES DE ARMADURAS

La longitud de empalme será:

$$l_e = \alpha_e 60 d_s$$

Con: l_e longitud de empalme, d_s diámetro de la barra, α_e coeficiente igual a 1,3 si se empalma más del 50% de las barras de armadura e igual a 1 si el porcentaje es menor.

Los anclajes de barras en nudos resultan vitales para el desempeño de los encadenados.

Se brindan los distintos casos en forma gráfica:

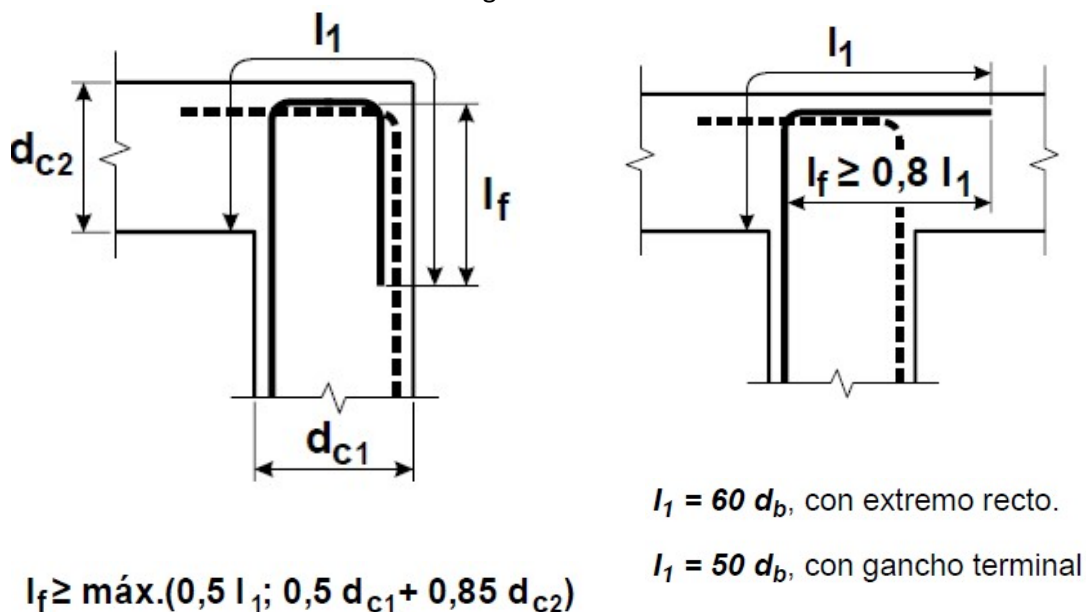


Figura 26 Detalle de anclajes de encadenado vertical y encadenado horizontal superior en L y en T -CIRSOC 103

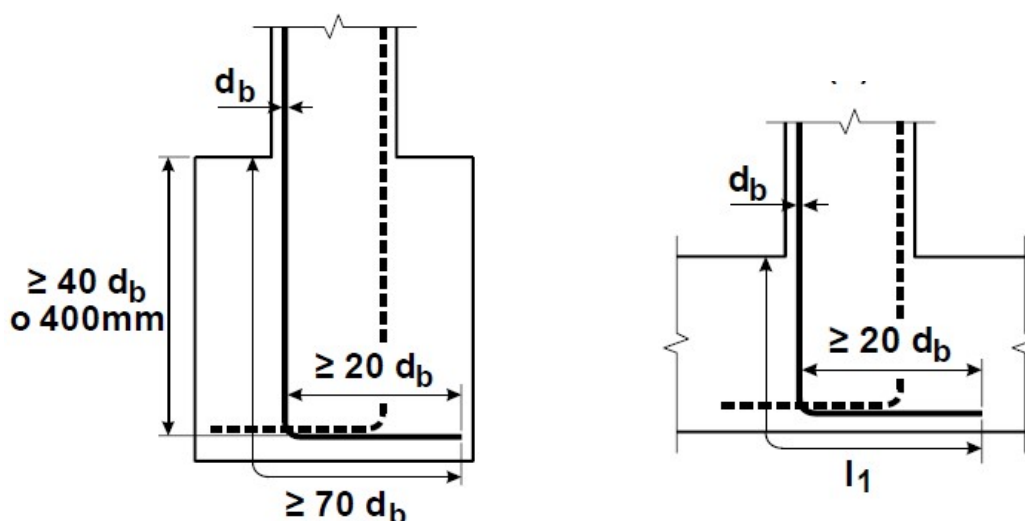


Figura 27 Detalles de anclajes del encadenado vertical y encadenado horizontal inferior (en fundación) CIRSOC 103

M02

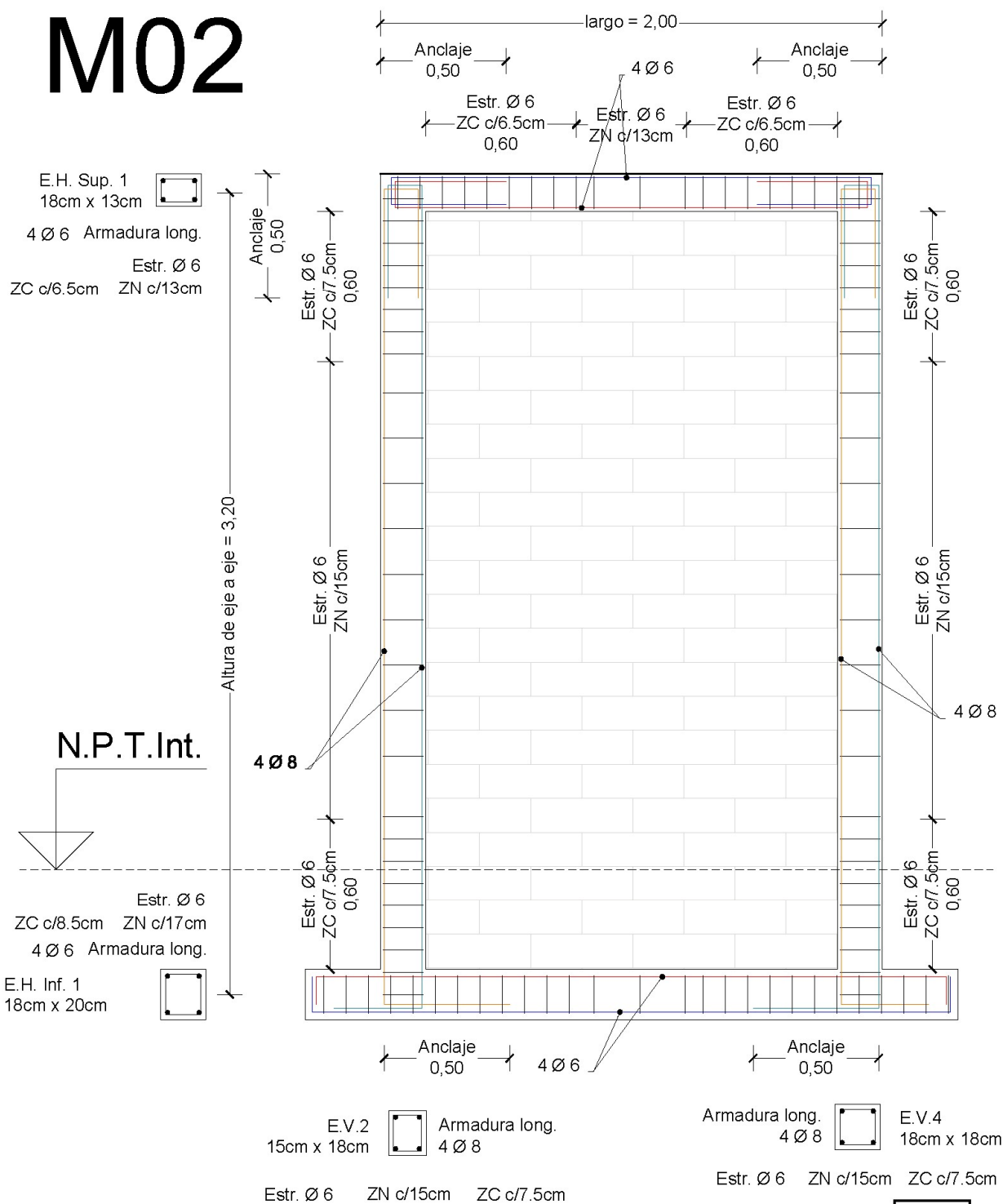


Figura 28 Detalle encadenados de un muro de mampostería

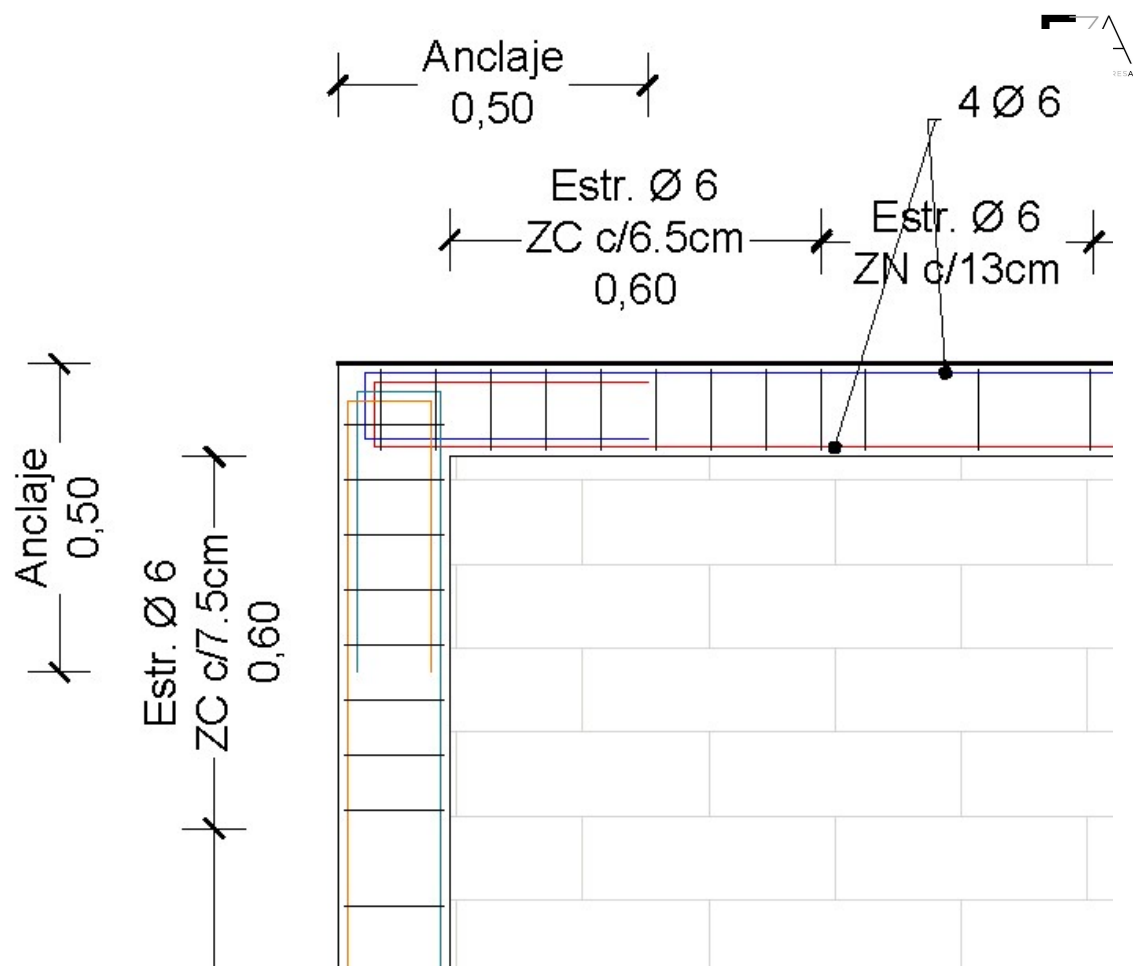
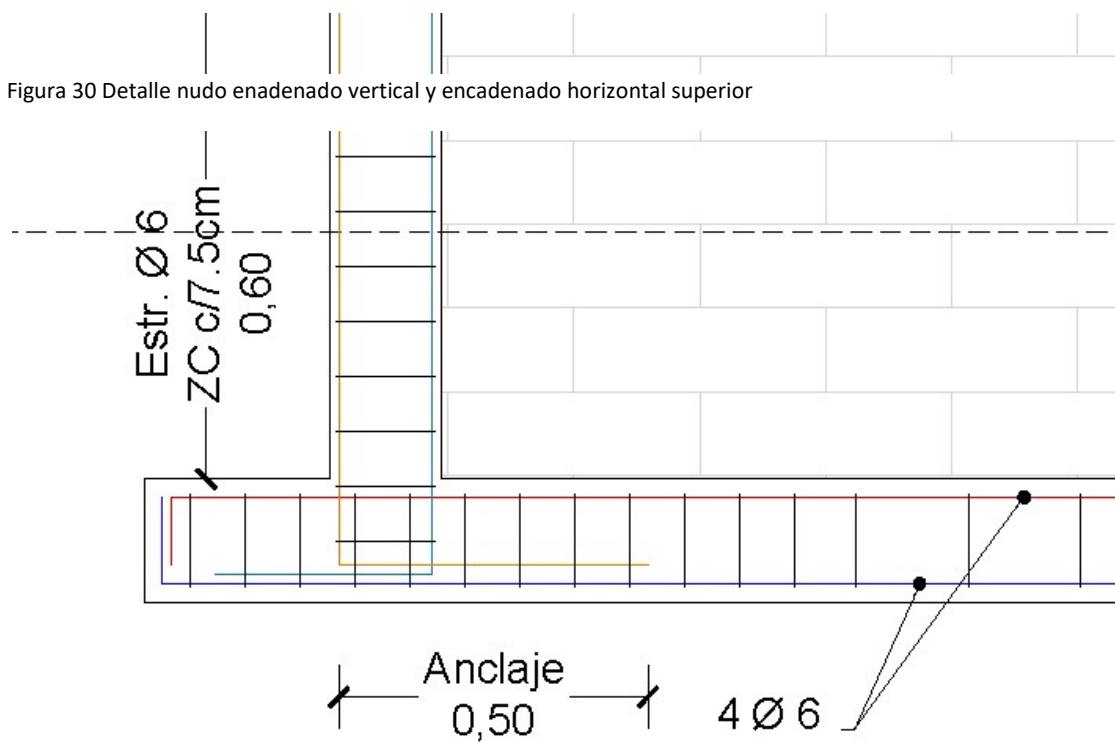
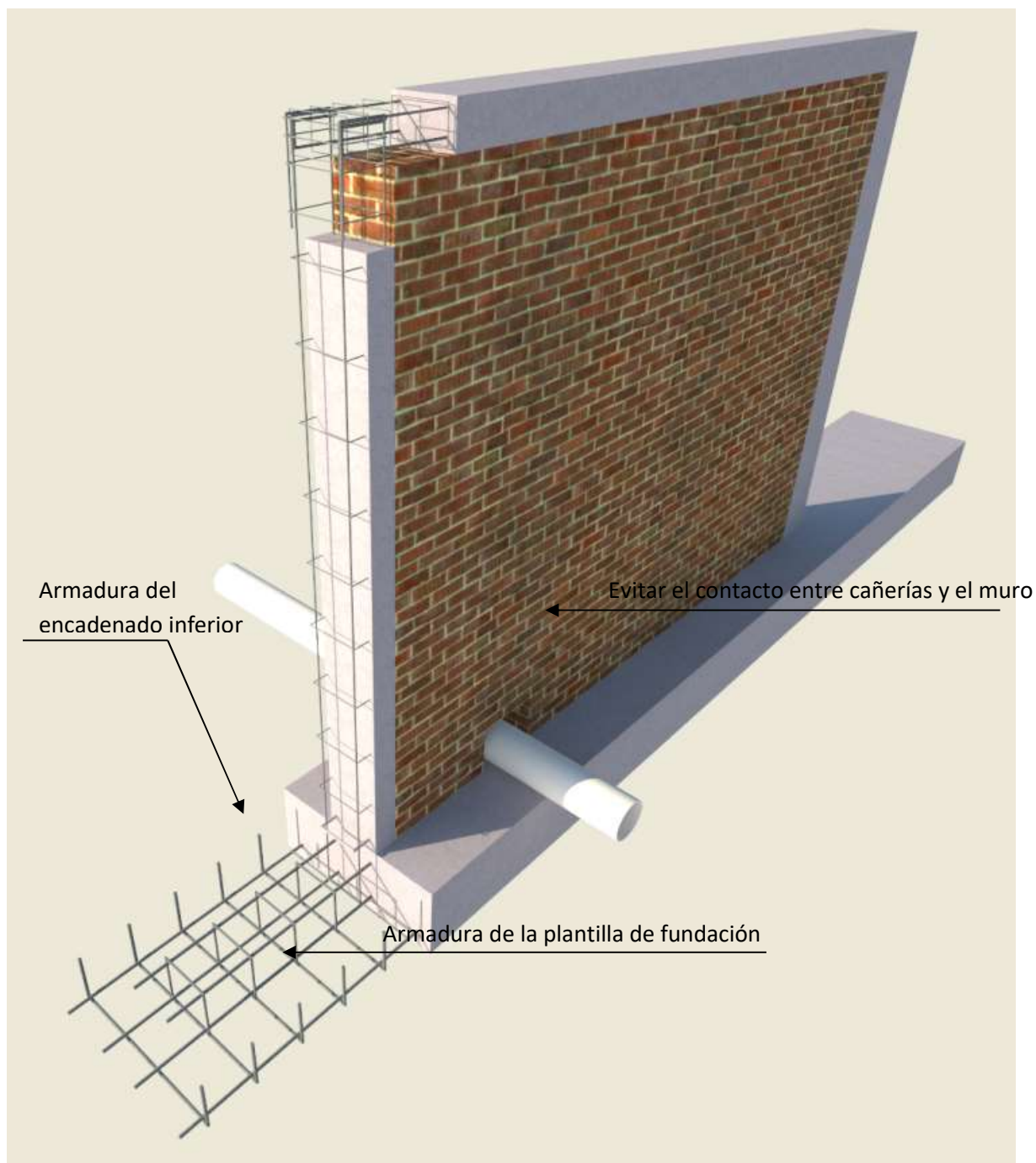


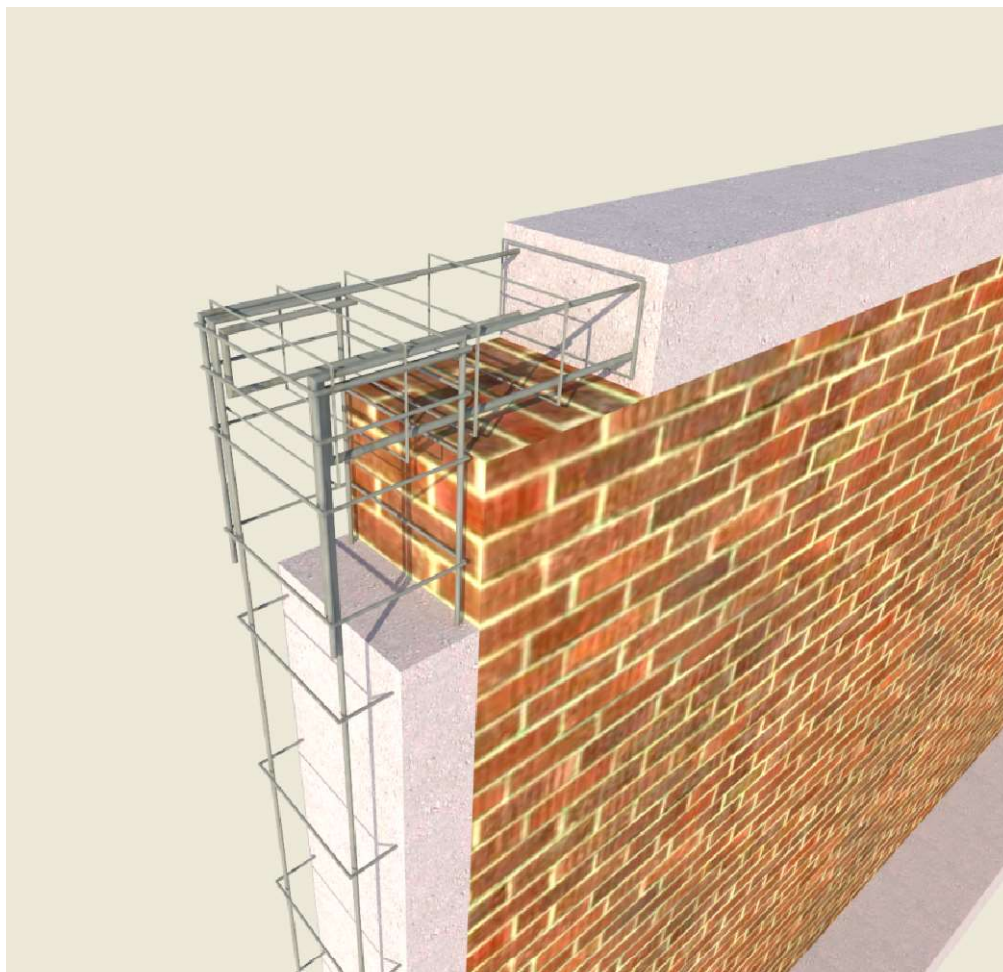
Figura 30 Detalle nudo enadenado vertical y encadenado horizontal superior



DETALLES EN TRES DIMENSIONES



Es sabido que las tres dimensiones, posibilitan visualizar espacialmente los vínculos, y las interferencias de las distintas componentes. De esta manera uno debe prever las instalaciones y evitar las interferencias.



Vista de las armaduras de los encadenados

En este detalle se puede visualizar como debe realizarse el anclaje de las barras que se detallan en los planos, ya que se trata de un punto fundamental para controlar en la dirección de obra, ya que es sabido que

....las estructuras se comportan como se construyen, y no como se diseñan y calculan...

PREDIMENSIONADO DE PLANTILLA

Una forma eficiente de asentar muros de mampostería es a través de fundaciones corridas como las plantillas, este tipo de estructura es una losa de hormigón que permite aumentar la superficie de contacto entre el muro y el suelo y, en función de la capacidad del mismo, se puede determinar el ancho necesario. Dentro de la losa de la plantilla se materializa el encadenado inferior del muro.

Es importante calcular, a través de un adecuado análisis de carga, la magnitud del peso que recibe el muro, este proviene de losas y vigas, en caso de que apoyen sobre el muro analizado; del peso propio del muro; del peso propio de la plantilla y de cualquier otro peso que pueda estar descargando en el muro.

Debido a la gran incertidumbre y variabilidad que puede tener la tensión de apoyo que brindan los estudios de suelos, se trabaja con tensiones admisibles (con factores de seguridad alrededor de 3), por lo tanto **las cargas analizadas se trabajan en servicio.**

Se debe trabajar siempre en **unidades coherentes** por ejemplo, una viga que apoya en el muro representa una carga puntual, si estoy trabajando con unidades de carga uniformemente distribuidas debo entonces a la carga de la viga repartirla en el largo del muro.

$$\sigma_s \left(\frac{tn}{m^2} \right) = \frac{q \left(\frac{tn}{m} \right)}{b(m)} \quad \rightarrow \quad \boxed{b(m) = \frac{q(tn/m)}{\sigma_s(tn/m^2)}}$$

Donde:

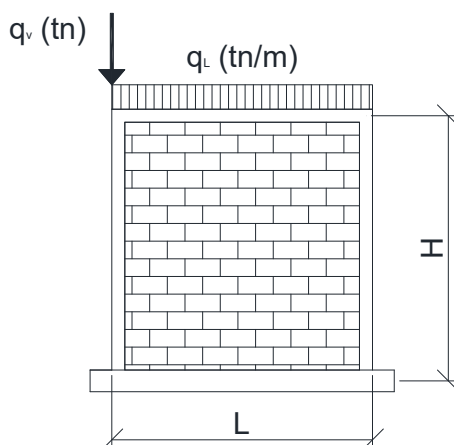
σ_s = Tensión del suelo

q = Carga total que debe resistir la plantilla

b = Ancho de la plantilla

Análisis de carga

Una vez determinado el esquema de carga del muro y las áreas de influencia de las losas que intervienen en el mismo, por ejemplo:



La carga que debe ser capaz de soportar la plantilla está compuesta por:

$$q = q_l(tn/m) + q_v(tn/m) + P_{pM}(tn/m) + P_{pP}(tn/m)$$

Donde:

$q_l(tn/m)$ = Peso de la losa que apoya en el muro por metro lineal

$q_v(tn/m)$ = Peso de las vigas que apoyan en el muro por metro lineal

$P_{pM}(tn/m)$ = Peso propio del muro por metro lineal

$P_{pP}(tn/m)$ = Peso propio de la plantilla por metro lineal

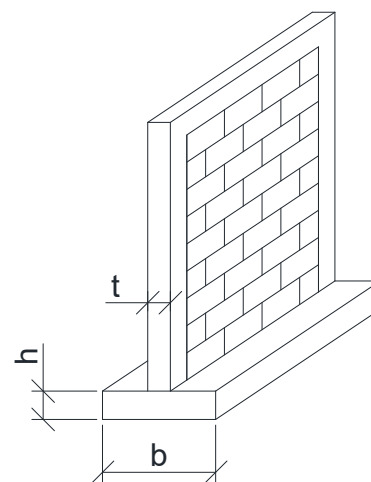
Analicemos cada uno de los ítems que intervienen para calcular la carga sobre el muro.

- Losa

$$q_l = \frac{q_s(tn/m^2) \times A_{inf}(m^2)}{L(m)}$$

- Viga

$$q_v = \frac{q_s(tn/m^2) \times A_{inf}(m^2)}{L(m)}$$



- Peso propio muro

$$P_{pM} = H(m) \times t(m) \times P_e(tn/m^3)$$

- Peso propio de la plantilla*

*Como la plantilla aún no está dimensionada se puede estimar un tamaño para determinar el peso propio

$$P_{pP} = b(m) \times h(m) \times P_{eH^o}(tn/m^3)$$