



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



INSTITUTO DE ESTRUCTURAS Y TRANSPORTE  
Prof. Julio Ricaldoni

# Mampostería Estructural

## Ejemplo Práctico 4 - Ejercicio 2

### **Docentes:**

Ing. Carolina Leao

Ing. Enzo Faliveni

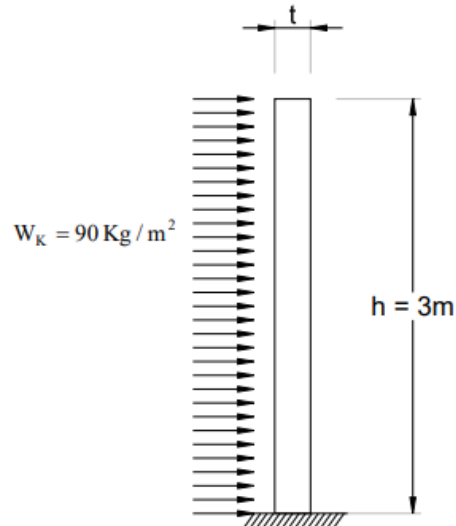
# Índice

<b>1. Letra</b>	<b>1</b>
<b>2. Resolución</b>	<b>2</b>
2.1. Estados de carga y Resistencia de la Mampostería . . . . .	2
2.2. Verificación a flexo-compresión muro con sección llena . . . . .	3
2.2.1. Muro sin admitir tracción por flexión . . . . .	3
2.2.2. Muro admitiendo tracción por flexión . . . . .	5
2.3. Verificación a flexo-compresión muro con contrafuertes . . . . .	5
2.3.1. Muro entre contrafuertes . . . . .	5
2.3.2. Contrafuerte sin admitir tracción por flexión . . . . .	9
2.3.3. Contrafuerte admitiendo tracción por flexión . . . . .	9

# 1. Letra

Se tiene el muro de la figura y se pretende verificarlo considerando:

- Sección llena
- Sección con contrafuertes



Suponer control especial en la elaboración de los mampuestos y especial en la ejecución de la obra. Ladrillos macizos cerámicos clase A y mortero de resistencia E.

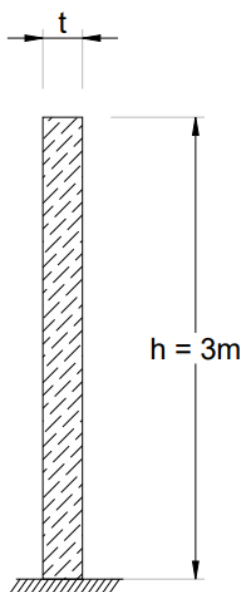
Para ambos tipos de sección considerar:

- Que la mampostería no admite tensiones de tracción por flexión (sección fisurada).
- Que la mampostería admite tensiones de tracción.

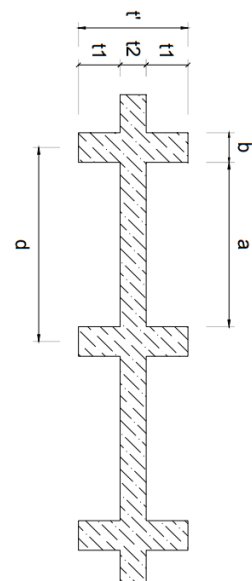
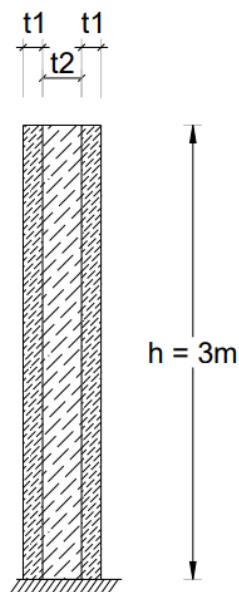
Especificar que método de cálculo se utiliza en cada caso.

## Casos:

Sección llena :



Sección con contrafuertes:



## 2. Resolución

### 2.1. Estados de carga y Resistencia de la Mampostería

Según el problema planteado se consideran las siguientes cargas aplicadas:

- $N_{PP}$
- $W_k = 90kg/cm^2$

La combinación determinante será la que considera la carga de viento como desfavorable y la carga estabilizante como favorable, se utilizará entonces la siguiente combinación.

**Cargas Permanentes + Viento:**  $0,9G_k + (1,4.W_k \text{ ó } 0,015.G_k)$

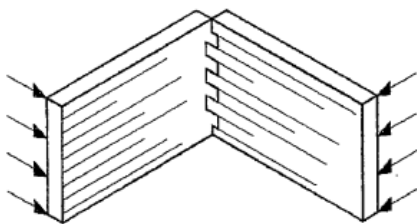
Dado que se supone un control especial en la fabricación de los mampuestos y especial en el control de la ejecución de la obra, se tendrá un factor de seguridad parcial de los materiales  $\gamma_m = 3,5$ .

Dado que estamos tratando con ladrillos macizos cerámicos clase A y mortero de resistencia E, se determinan los valores de resistencia de la mampostería según los Valores Indicativos. Se tiene entonces que:

La resistencia característica a compresión de la mampostería es  $f_k = 40,8kg/cm^2$ .

La resistencia característica de tracción por flexión cuyo vector momento es perpendicular a la a la junta horizontal de la mampostería es  $f_{kx} = 11,2kg/cm^2$ .

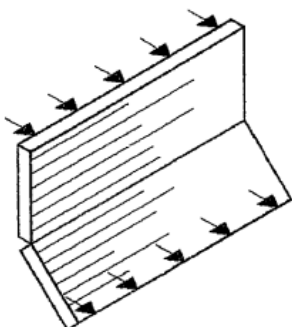
Resistencia característica a tracción por flexión  $f_{kx}$



Tipo de mampuesto	Tipo de mortero		
	Resistencia elevada (E)	Resistencia intermedia (I)	Resistencia normal (N)
Ladrillos cerámicos macizos Clase A	1,1	1,0	0,9
Ladrillos cerámicos macizos Clase B	0,9	0,8	0,7
Ladrillos huecos portantes cerámicos Clase A	0,6	0,55	0,5
Ladrillos huecos portantes cerámicos Clase B	0,45	0,4	0,35
Bloques huecos portantes de hormigón Clase A	0,6	0,55	0,5
Bloques huecos portantes de hormigón Clase B	0,45	0,4	0,35

La resistencia característica de tracción por flexión cuyo vector momento es paralelo a la a la junta horizontal de la mampostería es  $f_{ky} = 4,08kg/cm^2$ .

Resistencia característica a tracción por flexión  $f_{ky}$



Tipo de mampuesto	Tipo de mortero		
	Resistencia elevada (E)	Resistencia intermedia (I)	Resistencia normal (N)
Ladrillos cerámicos macizos Clase A	0,4	0,35	0,3
Ladrillos cerámicos macizos Clase B	0,35	0,3	0,25
Ladrillos huecos portantes cerámicos Clase A	0,25	0,23	0,2
Ladrillos huecos portantes cerámicos Clase B	0,2	0,18	0,15
Bloques huecos portantes de hormigón Clase A	0,25	0,23	0,2
Bloques huecos portantes de hormigón Clase B	0,2	0,18	0,15

## 2.2. Verificación a flexo-compresión muro con sección llena

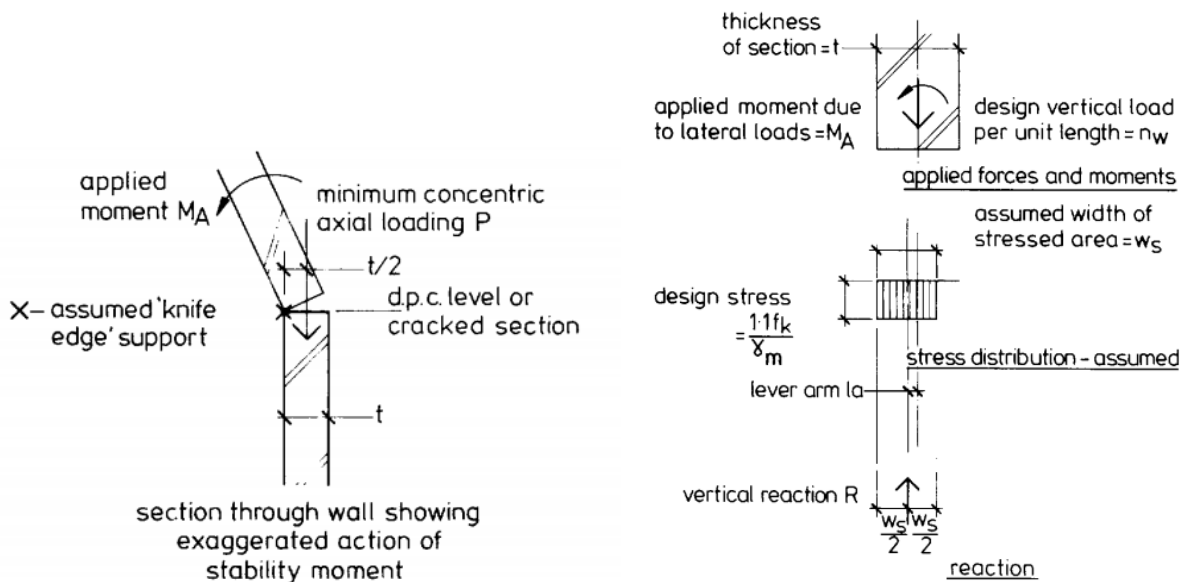
### 2.2.1. Muro sin admitir tracción por flexión

Se trabaja con sección fisurada, por lo que la sección no podrá desarrollar tensiones de tracción y el momento resistente de diseño será proporcionado únicamente por el momento de estabilidad gravitacional generado por el peso propio del elemento.

Lo comentado puede ser expresado de la siguiente manera, asumiendo soporte de apoyo lineal:

$$M_A \geq P \frac{t}{2}$$

No obstante la suposición de dicho soporte no es correcta cuando se trabaja con mampostería, pues se considerará que la misma desarrolla un diagrama de tensiones rectangular de ancho  $w_s$  como se observa a continuación.



La resistencia a la compresión es incrementada por un factor de 1,1, lo que relaciona el diagrama de la resistencia a la compresión asumida con la distribución real del esfuerzo. La norma británica incluye este factor en la determinación del momento de resistencia, en la resolución del ejercicio no consideraremos dicho incremento del 10%.

Finalmente, desarrollando lo planteado con anterioridad se llega a la siguiente condición:

$$n_w = \frac{f_k}{\gamma_m} * w_s$$

$$M_A \leq \frac{f_k}{\gamma_m} * w_s * \left( \frac{t}{2} - \frac{w_s}{2} \right) = M_R$$

Se realizará la verificación en la sección más solicitada, que según el problema planteado se desarrollará en la sección inferior. Se tiene entonces los siguientes esfuerzos según la combinación considerada.

$$n_w = 0,9 \cdot \rho_{mamp} \cdot h \cdot t = 0,9 * 1800 \text{kg/m}^3 * 3 \text{m} * t = 0,9 * 5400 \text{kg/m} * t$$

$$M_A = 1,4 * \frac{W_k \cdot h^2}{2} = 1,4 * \frac{90kg/m^2 * (3m)^2}{2} = 1,4 * 405kg \cdot m/m$$

Por lo que:

$$M_A \leq n_w \left( \frac{t}{2} - \frac{w_s}{2} \right)$$

$$2 * \frac{1,4 * 405kg \cdot m/m}{0,9 * 5400kg/m * t} = \frac{3,11 * 405kg \cdot m/m}{5400kg/m * t} \leq t - w_s$$

$$w_s \leq t - \frac{3,11 * 405kg \cdot m/m}{5400kg/m * t}$$

Para que sea posible el equilibrio se debe de cumplir que  $w_s \geq 0$ .

$$t \geq \sqrt{\frac{3,11 * 405kg \cdot m/m}{5400kg/m}} = 0,483m$$

Observar que si  $t = 0,483m$  la resistencia a compresión característica necesaria para lograr la estabilidad sería infinita, en este caso fijaremos  $t = 50$  y verificaremos el cumplimiento del muro con el espesor propuesto:

$$w_s = 0,5m - \frac{3,11 * 405kg \cdot m/m}{5400kg/m * 0,5m} = 0,034m$$

Se verifica finalmente la resistencia característica a compresión de la mampostería:

$$n_w = \frac{f_k}{\gamma_m} w_s = \frac{f_k}{3,5} * 0,034m$$

$$f_k = \frac{3,5}{0,034m} * 0,9 * 1800kg/m^3 * 3m * 0,5m = 25,4kg/cm^2$$

Se concluye que para un ancho de muro  $t = 50cm$ , la resistencia característica a compresión de la mampostería necesaria para satisfacer el equilibrio es  $f_k = 25,4kg/cm^2 \leq f_k = 40,8kg/cm^2$ , donde dicha resistencia se desarrolla de manera uniforme en un ancho  $w_s = 3,4cm$ .

Si se desea hallar el valor mínimo teórico necesario para satisfacer el equilibrio para una resistencia dada, es decir utilizar la resistencia de la mampostería en su capacidad máxima, se debe iterar  $t$  a partir de la siguiente ecuación.

$$M_A \leq \frac{n_w}{2} \left( t - \frac{n_w \gamma_w}{f_k} \right)$$

$$\frac{2M_A}{n_w} + \frac{n_w \cdot \gamma_w}{f_k} \leq t$$

$$\frac{2 * 1,4 * 405kg \cdot m/m}{0,9 * 1800kg/m^3 * 3m * t} + \frac{3,5 * 0,9 * 1800kg/m^3 * 3m * t}{40,8kg/cm^2} \leq t$$

Donde:  $t = 49,4cm$ .

### 2.2.2. Muro admitiendo tracción por flexión

Se verifica a continuación el mismo muro admitiendo tensiones de tracción por flexión, es decir con sección no fisurada donde son válidas las ecuaciones de resistencia de materiales.

$$m_{ry} = \left( \frac{f_{ky}}{\gamma_m} + g \right) \cdot Z = \left( \frac{f_{ky}}{\gamma_m} + 0,9 \cdot h \cdot \rho_{mamp} \right) \frac{b \cdot t^2}{6} \geq m_{dy}$$
$$\left( \frac{4,08 \text{kg/cm}^2}{3,5} + 0,9 * 300 \text{cm} * 0,0018 \text{kg/cm}^3 \right) \frac{1 * t^2}{6} \geq 1,4 * 405 \text{kg.m/m}$$
$$t^2 * 0,275 \text{kg/cm}^2 \geq 567 \text{kg.m/m}$$

Donde:  $t \geq 45,4 \text{cm}$ .

## 2.3. Verificación a flexo-compresión muro con contrafuertes

### 2.3.1. Muro entre contrafuertes

Para el cálculo de paneles de mampostería sometidos principalmente a cargas laterales existen dos métodos de cálculo. El primer método admitiendo resistencia de tracción por flexión del muro y el segundo método admitiendo sección fisurada logrando el equilibrio mediante un arco contenido entre soportes verticales y/o horizontales.

#### Admitiendo tracción por flexión

A partir de admitir tracción por flexión, la norma nos proporciona un método aproximado para hallar los momentos flectores de diseño en función de la luz libre vertical y horizontal, la relación ortogonal  $\mu$  y el coeficiente del momento flector  $\alpha$  que depende de las condiciones de apoyo del borde.

El momento de diseño por unidad de altura de un panel en la dirección horizontal puede expresarse de la siguiente manera.

$$m_{dx} = \alpha \cdot W_k \cdot \gamma_f \cdot l^2$$

El momento de diseño aplicado en la dirección vertical viene dado por la siguiente expresión.

$$m_{dy} = \mu \cdot \alpha \cdot W_k \cdot \gamma_f \cdot l^2$$

Siendo:  $\mu = \frac{f_{ky}}{f_{kx}}$  y  $l$  la separación entre apoyos verticales.

Los valores de  $\alpha$  pueden ser extraídos de la siguiente tabla en función de las condiciones de borde.

Note 1. Linear interpolation of  $\mu$  and  $h/L$  is permitted.

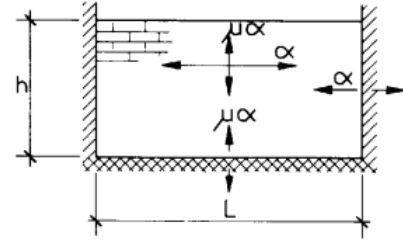
Note 2. When the dimensions of a wall are outside the range of  $h/L$  given in this table, it will usually be sufficient to calculate the moments on the basis of a simple span. For example, a panel of type A having  $h/L$  less than 0.3 will tend to act as a free-standing wall, whilst the same panel having  $h/L$  greater than 1.75 will tend to span horizontally.

Key to support conditions

— denotes free edge

////// simply supported edge

xxxxxx an edge over which full continuity exists.



	$\mu$	Values of $\alpha$						
		$h/L$						
		0.30	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75
	1.00	0.020	0.028	0.037	0.042	0.045	0.048	0.050
	0.90	0.021	0.029	0.038	0.043	0.046	0.048	0.050
	0.80	0.022	0.031	0.039	0.043	0.047	0.049	0.051
	0.70	0.023	0.032	0.040	0.044	0.048	0.050	0.051
	0.60	0.024	0.034	0.041	0.046	0.049	0.051	0.052
	0.50	0.025	0.035	0.043	0.047	0.050	0.052	0.053
	0.40	0.027	0.038	0.044	0.048	0.051	0.053	0.054
	0.35	0.029	0.039	0.045	0.049	0.052	0.053	0.054
	0.30	0.030	0.040	0.046	0.050	0.052	0.054	0.055

Se deberá satisfacer las siguientes expresiones.

$$m_{dx} \leq m_{rx} ; m_{dy} \leq m_{ry}$$

Donde:

$$m_{rx} = \frac{f_{kx}}{\gamma_m} * Z = \frac{f_{kx}}{\gamma_m} * \frac{1 * t^2}{6}$$

$$m_{ry} = \left( \frac{f_{ky}}{\gamma_m} + g \right) * Z = \left( \frac{f_{ky}}{\gamma_m} + g \right) \frac{1 * t^2}{6}$$

En primer lugar verificaremos  $m_{dx} \leq m_{rx}$ , por lo que se obtiene:

$$\alpha \cdot W_k \cdot \gamma_f \cdot l^2 \leq \frac{f_{kx}}{\gamma_m} * \frac{t^2}{6}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{6 \cdot \alpha \cdot W_k \cdot \gamma_f \cdot \gamma_m \cdot l^2}{f_{kx}}}$$

$$\mu = \frac{f_{ky}}{f_{kx}} = \frac{4,08}{11,22} = 0,36 \approx 0,35$$

Fijando la longitud entre contrafuertes  $l = 4m$ , tenemos que  $h/l = 0,75$  y por lo tanto  $\alpha = 0,045$ .

$$t \geq \sqrt{\frac{6 * 0,045 * 90kg/m^2 * 1,4 * 3,5 * (4m)^2}{11,2kg/cm^2}} = 13cm$$

Ahora verificaremos  $m_{dy} \leq m_{ry}$  para  $t = 13cm$ .



$$\mu \cdot m_{dx} \leq \left( \frac{f_{ky}}{\gamma_m} + 0,9 \cdot h \cdot \rho_{mamp} \right) \frac{1 \cdot t^2}{6}$$

$$0,36 \cdot 0,045 \cdot 90 \text{kg/m}^2 \cdot 1,4 \cdot (4\text{m})^2 \leq \left( \frac{4,08 \text{kg/cm}^2}{3,5} + 0,9 \cdot 300 \text{cm} \cdot 0,0018 \text{kg/cm}^3 \right) \frac{(13\text{cm})^2}{6}$$

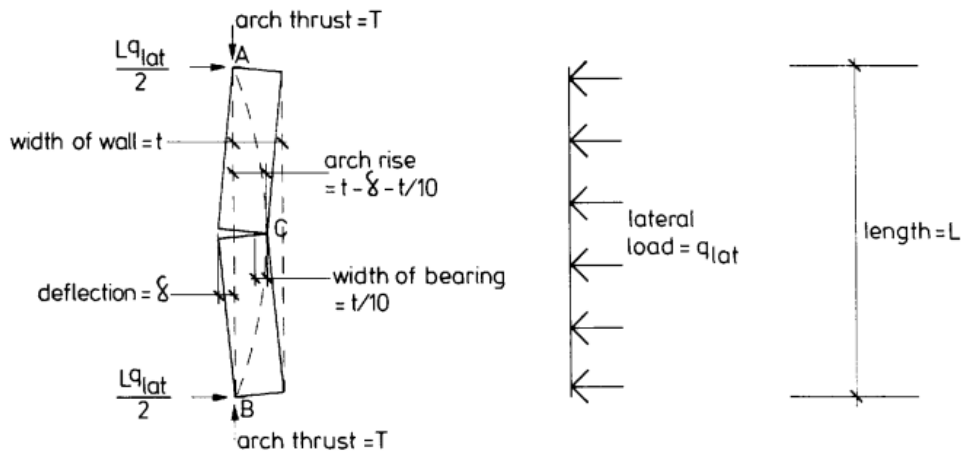
$$32,7 \text{kg.m/m} \leq 46,5 \text{kg.m/m}$$

Con lo que se concluye que utilizando un muro de 13cm de espesor, este método de cálculo permite una separación entre contrafuertes de hasta 4m.

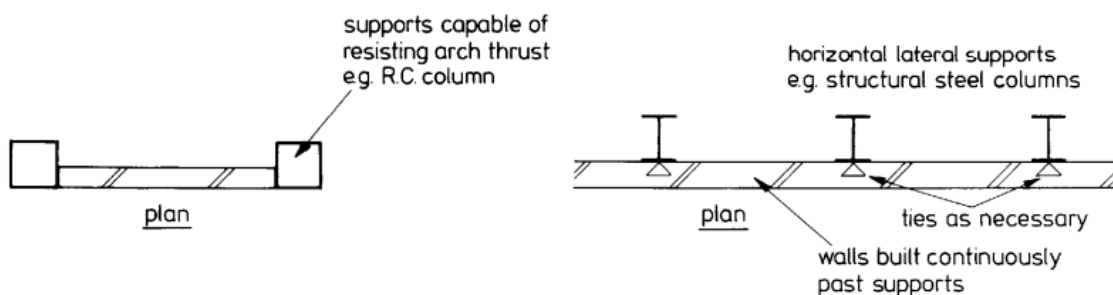
### Método del arco horizontal

Este método de diseño es basado en el supuesto que bajo un carga lateral se desarrolla un arco horizontal dentro de el ancho de la pared. Este análisis aproximado respecto al colapso de la estructura presenta las siguientes hipótesis.

- El arco encuentra su punto de pivote en el centro del muro generando una fisura vertical y así una rotación. El soporte que se desarrolla será lineal, el mismo es llamado “Borde de Cuchillo”.
- Los apoyos laterales deben de tener la rigidez necesaria para soportar la fuerza  $T$  sin desarrollar deformaciones excesivas.
- $L/t \leq 25$



Un supuesto similar puede ser adoptado para paredes continuas con apoyos verticales.



El esfuerzo lateral de diseño se determina mediante la siguiente expresión:

$$q_{lat} = \frac{f_k}{\gamma_m} \left( \frac{t}{L} \right)^2$$

Fijando  $t = 13cm$ .

$$L = \sqrt{\frac{f_k \cdot t^2}{\gamma_m \cdot \gamma_f \cdot W_k}} = \sqrt{\frac{40,8kg/cm^2 * (13cm)^2}{3,5 * 1,4 * 90kg/cm^2}} = 3,95m$$

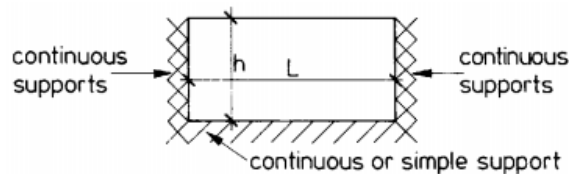
De lo que se deduce que a partir de realizar la verificación sin considerar el aporte de tracción por flexión de la mampostería, los contrafuertes presentan una separación  $5cm$  menor en comparación con el caso admitiendo tracción por flexión.

Al realizar la verificación por el método del arco horizontal se asume que los contrafuertes intermedios pueden soportar la fuerza horizontal del arco sin presentar grandes deformaciones que impidan el desarrollo del mismo. En los contrafuertes intermedios no hay problema pues la fuerza  $T$  se da de ambos lados y en sentidos opuestos, el problema se presenta en los contrafuertes extremos. Se puede realizar el cálculo a flexión del contrafuerte para verificar si resiste la fuerza  $T$  sin presentar grandes deformaciones, o en caso contrario colocar armadura horizontal con la finalidad de que absorba dicha fuerza.

Por otro lado, es notable destacar que la normativa establece condiciones geométricas y de resistencia de atado entre muros para asegurar la transmisión de esfuerzos. Se podrá a su vez verificar el cortante entre el muro y los contrafuertes para asegurar dicha transmisión.

Finalmente la normativa nos recomienda límites de esbeltez para el caso de paneles sometidos a cargas horizontales, en función de las condiciones de borde.

Para nuestro caso, al estar tratando con muros continuos asumiremos empotramientos laterales y un apoyo simple en su base. Por lo que se tiene que:



$h \times L \leq 1500 t_{ef}^2$   
 where  $t_{ef}$  is the effective thickness.  
 But neither  $h$  or  $L$  to be greater than  $50 \times t_{ef}$   
two or more sides continuous

$$h * L \leq 1500 \cdot t_{ef}^2 ; h \leq 50 * t_{ef} ; L \leq 50 * t_{ef}$$

Siendo  $h = 3m$  y  $L = 4m$ , tenemos que:

$$h * L = 3m * 4m = 12m^2 \leq 1500 * t_{ef}^2 = 1500 * 0,12m = 21,6m^2$$

$$h = 3m \leq 50 * t_{ef} = 50 * 0,12m = 6m$$

$$L = 4m \leq 50 * t_{ef} = 50 * 0,12m = 6m$$

### 2.3.2. Contrafuerte sin admitir tracción por flexión

Al igual que la verificación del muro se trabajará considerando la sección fisurada, siendo el momento resistente de diseño el momento de estabilidad gravitacional generado por el peso propio del elemento.

$$n_w = 0,9 \cdot \rho_{mamp} \cdot h \cdot t' \cdot b$$

$$M_A = 1,4 * \frac{W_k \cdot (b + L) \cdot h^2}{2}$$

Siendo  $L$  la separación entre contrafuertes,  $t'$  el espesor del contrafuerte y  $b$  el ancho del contrafuerte.

$$\frac{2M_A}{n_w} + \frac{n_w \cdot \gamma_w}{f_k \cdot b} \leq t'$$

$$\frac{2 * 1,4 * 90kg/m^2 * (b + 4m) * (3m)^2}{0,9 * 1800kg/m^3 * 3m * t' * b * 2} + \frac{3,5 * 0,9 * 1800kg/m^3 * 3m * t' * b}{40,8kg/cm^2 * b} \leq t'$$

Existen infinitas geometrías posible que satisfagan la anterior condición, por ejemplo fijando  $t' = 1,21m$  y  $b = 0,80m$  tenemos que:

$$1,16m + 0,05m = 1,21m \leq 1,21m$$

Verificando el cumplimiento geométrico del ancho  $w_s$ .

$$w_s = \frac{n_w \cdot \gamma_w}{f_k \cdot b} = 0,05m \leq \frac{t' - t}{2} = \frac{1,21m - 0,13m}{2} = 0,54m$$

### 2.3.3. Contrafuerte admitiendo tracción por flexión

Se verifica a continuación el contrafuerte admitiendo tensiones de tracción por flexión, donde son válidas las ecuaciones de resistencia de materiales.

$$m_{ry} = \left( \frac{f_{ky}}{\gamma_m} + g \right) * Z = \left( \frac{f_{ky}}{\gamma_m} + 0,9 \cdot h \cdot \rho_{mamp} \right) \frac{b \cdot (t')^2}{6} \geq m_{dy}$$

$$\left( \frac{4,08kg/cm^2}{3,5} + 0,9 * 300cm * 0,0018kg/cm^3 \right) \frac{b * (t')^2}{6} \geq \frac{1,4 * 90kg/m^2 * (b + 400cm) * (3m)^2}{2}$$

$$1,65kg/cm^2 * \frac{b * (t')^2}{6 * (b + 400cm)} \geq 567kg$$

$$\frac{b * (t')^2}{(b + 400cm)} \geq 2061,8cm^2$$

Existen infinitas geometrías posible que satisfagan la anterior condición, por ejemplo fijando  $t' = 1,10m$  y  $b = 0,80m$  tenemos que:

$$2016,8cm^2 \geq 2061,8cm^2$$

Finalmente realizaremos una comparación de material utilizado en ambas soluciones planteadas, muros con contrafuertes y muros sin contrafuertes.

El muro sin contrafuertes de espesor  $t = 0,50m$  presenta un área de  $A = 2m^2$  por cada  $4m$  lineal de muro. Mientras que la solución con contrafuertes de geometría  $t' * b = 1,10m * 0,80m$  espaciados cada  $4m$  con un muro intermedio de espesor  $t = 0,13m$ , presenta un área de  $A = 0,13m * 3,2m + 0,80m * 1,10m = 1,30m^2$  por cada  $4m$  lineal de muro.

Se deduce entonces que la solución con contrafuertes insume menos materiales, presentando para la geometría planteada en este caso una reducción del 35%. Pero ésta presenta una mayor complejidad constructiva y un desmedro de la calidad estética, por lo que no se justifica su uso.