CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MUROS DE LADRILLO PARA EL CÁLCULO CON PROGRAMAS TIPO TRICALC Y/Ó CYPE.

Los valores necesarios para realizar las comprobaciones de cálculo de muros de ladrillo siguiendo programas de cálculo de estructuras mediante elementos finitos, como CYPE, Tricalc, etc, se obtienen del Eurocódigo 6 : UNE-ENV-1996-1-1 "Proyecto de estructuras de fábrica".

0.- Resistencia característica.

0.1. Resistencia característica a compresión.

La resistencia característica a compresión de un muro de ladrillo con mortero ordinario, viene dada por:

$$\boxed{f_k = K\, f_b^{0,65}\, f_m^{0,25} \quad (N/mm^2)}$$

siendo:

- f_k = *resistencia característica de la fábrica* (N/mm^2)

f_b = *resistencia media a compresión normalizada de los ladrillos* (N/mm^2). Según la norma UNE 67019 la resistencia a compresión mínima admisible de los ladrillos macizos y perforados verticalmente será de 100 kg/ cm^2. Los ladrillos huecos que se utilicen en fábricas resistentes tendrán una resistencia a compresión mínima de 50 kg/ cm^2.

- f_m = *resistencia media a compresión del mortero* (N/mm^2).

  El mortero ordinario para fábrica resistente no será inferior a M5.
- $K = 0,60\ (N/mm^2)^{0,10}$; *(ladrillo macizo. Pieza grupo 1)*[1]
- $K = 0,50\ (N/mm^2)^{0,10}$; *(ladrillo macizo. Pieza grupo 1)*[2]
- $K = 0,55\ (N/mm^2)^{0,10}$; *(ladrillo cara vista. Pieza grupo 2a)*[3]
- *K =0,45 (N/mm2)0,10 ; (ladrillo cara vista. Pieza grupo 2a)* [4]
- $K = 0,50\ (N/mm^2)^{0,10}$; *(ladrillo perforado para revestir. Pieza grupo 2b)*[5]
- $K = 0,40\ (N/mm^2)^{0,10}$; *(ladrillo perforado para revestir. Pieza grupo 2b)*[6]
- $K = 0,40\ (N/mm^2)^{0,10}$; *(ladrillo hueco. Pieza grupo 3)*

---

[1] para piezas del grupo 1, cuando existan suturas en toda o parte de la longitud de la fábrica.
[2] para piezas del grupo 1, cuando existan suturas en toda o parte de la longitud de la fábrica.
[3] para piezas del grupo 2a, cuando el espesor de la fábrica sea igual al tizón o la soga de las piezas y no existan suturas en toda o parte de la longitud del muro (junta vertical a hueso ó en seco).
[4] para piezas del grupo 2a, cuando existan suturas en toda o parte de la longitud de la fábrica.
[5] para piezas del grupo 2b, cuando el espesor de la fábrica sea igual al tizón o la soga de las piezas y no existan suturas en toda o parte de la longitud del muro (junta vertical a hueso ó en seco).
[6] para piezas del grupo 2b, cuando existan suturas en toda o parte de la longitud de la fábrica.

0.2. Resistencia característica a tracción.

Las obras de fábrica trabajan fundamentalmente a compresión y aunque tienen resistencia a tracción, puede considerarse despreciable para el cálculo.

0.3. Resistencia característica a cortante.

a) La resistencia característica a cortante de la fábrica de ladrillo, con juntas verticales de mortero, será la menor de los siguientes valores:

a) $f_{vk} = f_{vko} + 0{,}4\ \sigma_d$ **(N/mm²)**

b) $f_{vk} = 0{,}065\ f_b$ **(N/mm²), no menor de** f_{vko}

c) f_{vk} **= el valor límite de** f_{vk}

siendo:

- f_{vko} *= resistencia a corte puro, con tensión de compresión nula, determinada según la tabla 3.5, para fábricas con mortero ordinario:*

Tabla 3.5. Resistencia a corte puro f_{vko} y límites de f_{vk} para fábricas de mortero ordinario

Piezas de arcilla	Mortero	f_{vko} (N/mm²)	Límite de f_{vk} (N/mm²)
Grupo 1	M10 a M20	0,3	1,7
	M2,5 a M9	0,2	1,5
Grupo 2a	M10 a M20	0,3	1,4
	M2,5 a M9	0,2	1,2
Grupo 2b	M10 a M20	0,2	1,4
	M2,5 a M9	0,15	1,2

- *σd = tensión de cálculo a compresión, teniendo en cuenta la mayoración de las cargas*

$$\sigma d = \frac{fk}{\gamma m} \quad (N/mm^2)$$

- *f_k = resistencia característica de la fábrica.*
- *γ_m = coeficiente parcial de seguridad.*

Tabla 2.2. Coeficientes parciales de seguridad de acciones en estructuras de edificios para situaciones de proyecto persistentes y transitoria.

Coeficiente parcial de seguridad γ_m			**Categoría de la ejecución**		
			A (Control intenso)	**B** (Control medio)	**C** (Control bajo)
Fábrica	**Categoría del control de fabricación de piezas (según UNE 771-1)**	**I**	1,7	2,2	2,7
		II	2,0	2,5	3,0

* **Categoría I:** Piezas suministradas por el fabricante con una resistencia a compresión especificada y que tenga un plan de control de calidad, que demuestre que la resistencia media a compresión de cada remesa según la norma UNE-EN 772-1, tenga una probabilidad de no alcanzar la resistencia a compresión especificada que no supere el 5%.

* **Categoría II:** Cuando el valor medio de la resistencia a compresión de las piezas de fábrica cumpla con lo especificado en la Norma UNE-EN 772- 1, pero no se cumplan los requisitos adicionales para la categoría I.

* En España se adoptan tres niveles de ejecución, de categorías A, B y C, para las fábricas estructurales, con los siguientes requisitos:

- **Categoría A:**

En la ejecución se exigirá que se realicen:

  – Ensayos de probetas de fábrica antes de comenzar la obra y al menos dos veces más.
  – Supervisión continuada del constructor e inspección diaria independiente del constructor de la obra ejecutada.

- **Categoría B:**

En la ejecución se exigirá que se realice:

  – Supervisión continuada del constructor e inspección diaria independiente del constructor de la obra ejecutada.

- **Categoría C:**

Cuando no se cumpla alguno de los requisitos establecidos para la categoría B.

Sustituyendo quedaría:

* Pieza Grupo 1:

a) $f_{vk} = f_{vko} + 0{,}4\ \sigma_d$ N/mm^2

con M-7,5 → $f_{vko} = 0{,}2$ N/mm^2 → **$f_{vk} = 0{,}2$ N/mm^2**

con M-10 → $f_{vko} = 0{,}3$ N/mm^2 → **$f_{vk} = 0{,}3$ N/mm^2**

b) $f_{vk} = 0{,}065\ f_b$ N/mm^2, no menor de f_{vko}

con ladrillo macizo de resistencia $f_b = 20$ N/mm^2 y mortero M-7,5 →

$f_{vk} = 1{,}3$ N/mm^2 >0,2 N/mm^2

con ladrillo macizo de resistencia $f_b = 20$ N/mm^2 y mortero M-10 →

$f_{vk} = 1{,}3$ N/mm^2 >0,3 N/mm^2

c) f_{vk} = el valor límite de f_{vk} N/mm^2

Valor límite de fvk con M-7,5 → **$f_{vk\ lím} = 1{,}5$ N/mm^2**

Valor límite de fvk con M-10 → **$f_{vk\ lím} = 1{,}7$ N/mm^2**

Tomando el caso más desfavorable para una primera aproximación en el cálculo, tendríamos:

Para M-7,5 → **fvk = 0,2 N/mm^2**

Para M-10 → **fvk = 0,3 N/mm^2**

* Pieza Grupo 2a:

a) $f_{vk} = f_{vko} + 0{,}4\ \sigma_d$ N/mm^2

con M-7,5 → $f_{vko} = 0{,}2$ N/mm^2 → **$f_{vk} = 0{,}2$ N/mm^2**

con M-10 → $f_{vko} = 0{,}3$ N/mm^2 → **$f_{vk} = 0{,}3$ N/mm^2**

b) $f_{vk} = 0{,}065\ f_b$ N/mm^2, no menor de f_{vko}

con ladrillo perforado de resistencia $f_b = 15$ N/mm^2 y mortero M-7,5 →

$f_{vk} = 0{,}975$ N/mm^2 <1,2 N/mm^2 → **$f_{vk} = 1{,}2$ N/mm^2**

con ladrillo perforado de resistencia $f_b = 15$ N/mm^2 y mortero M-10 →

$f_{vk} = 0{,}975$ N/mm^2 <1,4 N/mm^2 → **$f_{vk} = 1{,}4$ N/mm^2**

c) f_{vk} = el valor límite de f_{vk} N/mm^2

Valor límite de fvk con M-7,5 → $f_{vk\ lím}$ = **1,2 N/mm^2**

Valor límite de fvk con M-10 → $f_{vk\ lím}$ = **1,4 N/mm^2**

Tomando el caso más desfavorable para una primera aproximación en el cálculo, tendríamos:

Para M-7,5 → **fvk = 0,2 N/mm^2**

Para M-10 → **fvk = 0,3 N/mm^2**

<u>* Pieza Grupo 2b</u>:

a) $f_{vk} = f_{vko} + 0{,}4\ \sigma_d$ N/mm^2

con M-7,5 → f_{vko} = 0,15 N/mm^2 → **f_{vk} = 0,15 N/mm^2**

con M-10 → f_{vko} = 0,2 N/mm^2 → **f_{vk} = 0,2 N/mm^2**

b) $f_{vk} = 0{,}065\ f_b$ N/mm^2, no menor de f_{vko}

con ladrillo perforado de resistencia f_b = 15 N/mm^2 y mortero M-7,5 →

f_{vk} = 0,975 N/mm^2 <1,2 N/mm^2 → **f_{vk} = 1,2 N/mm^2**

con ladrillo perforado de resistencia f_b = 15 N/mm^2 y mortero M-10 →

f_{vk} = 0,975 N/mm^2 <1,4 N/mm^2 → **f_{vk} = 1,4 N/mm^2**

c) f_{vk} = el valor límite de f_{vk} N/mm^2

Valor límite de fvk con M-7,5 → $f_{vk\ lím}$ = **1,2 N/mm^2**

Valor límite de fvk con M-10 → $f_{vk\ lím}$ = **1,4 N/mm^2**

Tomando el caso más desfavorable para una primera aproximación en el cálculo, tendríamos:

Para M-7,5 → **fvk = 0,15 N/mm^2**

Para M-10 → **fvk = 0,2 N/mm^2**

b) La resistencia característica a cortante de la fábrica de ladrillo, con juntas verticales a hueso, será la menor de los siguientes valores:

a) $f_{vk} = 0{,}5\ f_{vko} + 0{,}4\ \sigma_d$ **(N/mm²)**

b) $f_{vk} = 0{,}045\ f_b$ **(N/mm²), no menor de** f_{vko}

c) $f_{vk} = 0{,}7$ **el valor límite de** f_{vk}

siendo:

- f_{vko} = *resistencia a corte puro, con tensión de compresión nula, determinada según la tabla 3.5.*
- σd = *tensión de cálculo a compresión, teniendo en cuenta la mayoración de las cargas*

  $$\sigma d = \frac{fk}{\gamma m} \quad (N/mm^2)$$

- f_k = *resistencia característica de la fábrica.*
- γ_m = *coeficiente parcial de seguridad.*

0.4. Resistencia a flexión paralela a los tendeles (flexión por llagas)

La resistencia a flexión por llagas puede tomarse igual a :

$$\boxed{fxk1 = fvko}$$

0.5. Resistencia a flexión perpendicular a los tendeles (flexión por tendeles).

La resistencia a flexión por tendeles puede tomarse igual a:

$$\boxed{fxk2 = 0{,}1\ fk}$$

1.- Resistencias de cálculo a compresión de una fábrica de ladrillo con mortero ordinario:

$$\boxed{fd = fk / \gamma m \quad (N/mm^2)}$$

γm = 2,2 para piezas con control en el proceso de fabricación y control de ejecución normal (Ver tabla 2.2)

2.- Módulo de elasticidad secante instantáneo E.

$$E = 1000 \times fk$$

Si el módulo de elasticidad se emplea para cálculos en estados límites de utilización, se recomienda multiplicar el valor E por el factor 0,6.

3.- Módulo de elasticidad transversal G.

El módulo de elasticidad transversal G puede tomarse igual al **40 % del módulo de elasticidad E**, a falta de valores más precisos.

4.- Coeficiente de Poisson.

Se tomará un valor de **0,25**.

5.- Peso específico de los muros de ladrillo:

a) Ladrillo cerámico macizo:
Puede tomarse un valor de **1,80 T/m^3**

b) Ladrillo cerámico perforado:
Puede tomarse un valor de **1,40 T/m^3**

c) Ladrillo cerámico hueco:
Puede tomarse un valor de **1 T/m^3**

6.- Factor de rigidez plana horizontal.

Este factor debe estar en el rango 0,01 a 2,00.

Permite modificar la rigidez horizontal del muro resistente en su comportamiento a tensión plana. De esta forma se pueden modelizar materiales que no sean isótropos, como las fábricas de ladrillo, bloques o piedra, cuya resistencia a esfuerzos verticales es mayor que a los esfuerzos horizontales en su plano, para lo que se introducirá un valor menor de la unidad. **(entre 0,01 y 1)**.

7.- Factor de rigidez a flexión.

Este factor debe estar en el rango 0,01 a 2,00.

Permite modificar la rigidez a flexión del muro resistente en su comportamiento a flexión de placa. De esta forma se pueden modelizar materiales que no son isótropos,. como las fábricas de ladrillo, bloques o piedra, cuya resistencia a tracción es muy escasa en relación a la resistencia a compresión, por lo que su rigidez a flexión es también pequeña, para lo que se introducirá un valor menor de la unidad **(entre 0,01 y 1)**.