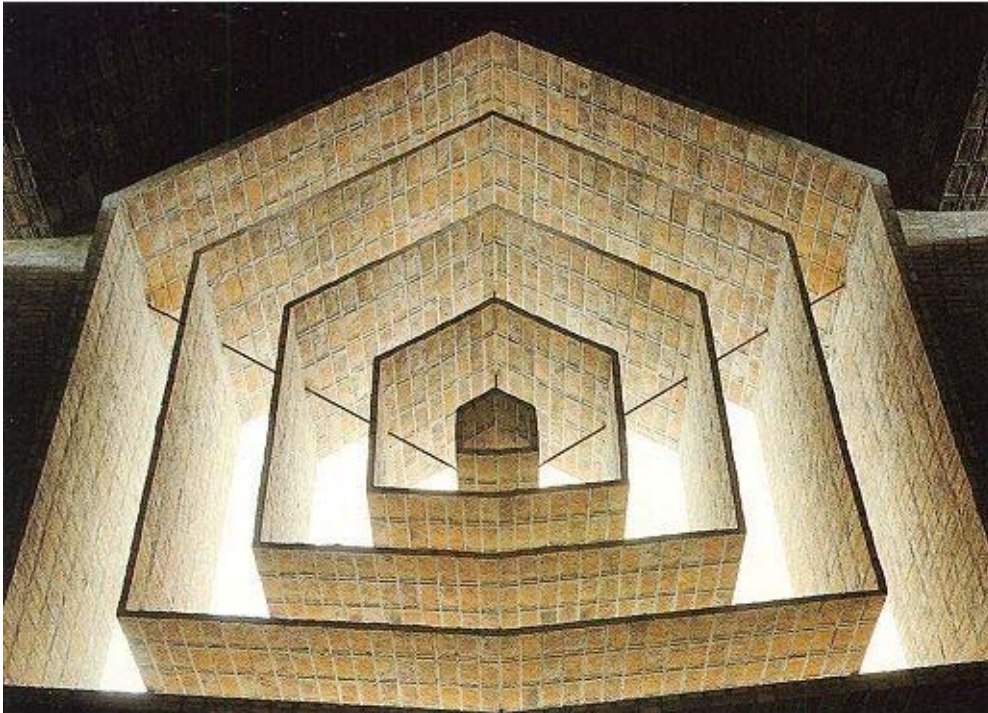


Mampostería Estructural



Docentes:

Ing. Carlos Colacce

Ing. Carolina Leao

Sr. Daniel Pastorino

1.	PRIMERAS NOCIONES	4
1.1.	INTRODUCCIÓN	4
1.2.	ASPECTOS HISTÓRICOS	6
1.3.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA MAMPOSTERÍA.	7
1.4.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MAMPOSTERÍA.....	8
2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	10
2.1.	MAMPUESTOS	10
2.1.1.	<i>Ladrillos cerámicos macizos</i>	10
2.1.2.	<i>Ticholos</i>	10
2.1.3.	<i>Bloques de hormigón</i>	10
2.2.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS DISTINTOS COMPONENTES	11
2.2.1.	<i>Resistencia característica a compresión de los mampuestos</i>	11
2.2.1.1.	Determinación de la resistencia a compresión de los mampuestos f_b	11
2.2.1.2.	Determinación de la resistencia característica a compresión de mampuestos f_{bk}	12
2.2.2.	<i>Condiciones de resistencia y utilización de los mampuestos</i>	13
2.2.3.	<i>Condiciones de resistencia y utilización de los morteros</i>	13
2.3.	RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA	14
2.3.1.	<i>Resistencia característica a compresión de la mampostería</i>	14
2.3.1.1.	Ensayos a compresión de prismas.....	14
2.3.1.2.	Resistencia de mampuestos y morteros tipificados.....	16
2.3.1.3.	Valores indicativos	17
2.3.2.	<i>Interacción mampuesto – junta de mortero bajo cargas de compresión</i>	17
2.3.2.1.	Teoría de falla basada en deformación límite del mampuesto	19
2.3.2.2.	Teoría de falla basada en el estado tensional de ambos materiales.....	21
2.3.3.	<i>Resistencia característica a corte de la mampostería</i>	25
2.3.3.1.	Ensayos a corte de muretes	26
2.3.3.2.	Valores indicativos	28
2.3.3.3.	Influencia de la compresión	28
2.3.3.4.	Variantes del ensayo indicadas en bibliografía	32
2.3.4.	<i>Resistencia a tracción por flexión de la mampostería</i>	35
2.3.4.1.	Ensayos de flexión de probetas.....	35
2.3.4.2.	Valores indicativos	41
2.3.4.3.	Características del comportamiento de la mampostería a flexión.....	42
3.	DISEÑO	44
3.1.	GENERALIDADES.....	44
3.1.1.	<i>Diseño en estado límite</i>	45
3.1.1.1.	Estados de carga.....	46
3.1.1.2.	Coefficiente de seguridad parcial de materiales	47
3.2.	DISEÑO DE ELEMENTOS CON SOLICITACIÓN PREDOMINANTE DE COMPRESIÓN	49
3.2.1.	<i>Determinación de la Esbeltez de los muros</i>	49
3.2.2.	<i>Cálculo del espesor efectivo</i>	51
3.2.3.	<i>Efectos a considerar en el cálculo de un muro a compresión</i>	52
3.2.4.	<i>Método de diseño de muros comprimidos</i>	55
3.2.4.1.	Cálculos recomendados por I.E.T.	57
3.2.4.2.	Cálculos exigidos por la norma BS 5628.....	57
3.2.5.	<i>Diseño de columnas comprimidas</i>	58
3.2.5.1.	Columnas formadas por aberturas.....	60
3.2.6.	<i>Muros con descargas concentradas</i>	61
3.2.6.1.	Apoyos Tipo 1	62
3.2.6.2.	Apoyos Tipo 2	63

3.2.7.	<i>Descargas de muros portantes sobre pórticos de hormigón</i>	65
3.2.7.1.	Máxima tensión vertical en la pared	66
3.2.7.2.	Directa en la viga	69
3.2.7.3.	Máxima tensión rasante entre viga y pared.....	71
3.2.7.4.	Momento flector en la viga	73
3.3.	VERIFICACIÓN DE CORTANTE	76
3.4.	DISEÑO DE ELEMENTOS CON SOLICITACIÓN PREDOMINANTE DE FLEXIÓN.....	77
3.4.1.	<i>Método de diseño admitiendo tracciones</i>	78
3.4.1.1.	Paneles con vector momento paralelo a la junta	78
3.4.1.2.	Paneles con vector momento perpendicular a la junta	79
3.4.1.3.	Paneles con flexión en ambos sentidos	80
3.4.1.4.	Casos Particulares	82
3.4.1.5.	Limitaciones de esbelteces para paneles sin compresión.....	84
3.4.2.	<i>Método de diseño sin admitir tracciones</i>	85
3.4.3.	<i>Métodos de diseños basados en el colapso del muro</i>	87
3.4.3.1.	Método del arco vertical	87
3.4.3.2.	Método del arco horizontal	93
4.	BIBLIOGRAFÍA	95

1. PRIMERAS NOCIONES

1.1. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las estructuras de hormigón armado, los muros tienen simplemente una función de cerramiento. Al diseñar la estructura no se considera la capacidad de soportar cargas de los muros, por lo que las mismas son soportadas por losas, vigas y pilares. De esta forma se desaprovecha la capacidad portante de los muros.

En este curso se estudiará la mampostería estructural a fin de brindar al estudiante los conceptos necesarios para el diseño de estructuras considerando los muros como elementos portantes, o sea, como aquellos que soportan las cargas.

El curso se basará principalmente en el estudio de la **mampostería simple**, o sea, aquella que no presenta armadura. Se verán también lineamientos básicos para el diseño de **mampostería confinada** que es aquella que tiene elementos armados que le dan mayor rigidez a la mampostería, reducen la fisuración y permiten entonces trabajar con coeficientes de seguridad más bajos. Otros tipos son la **mampostería armada o reforzada** y la **mampostería postensada**. Estos últimos tipos no serán vistos en el curso.

Mampostería:

- ✓ Simple
- ✓ Confinada
- ✗ Reforzada (o armada)
- ✗ Post - tensionada

En la Figura 1-1 se muestran algunos posibles arreglos de la mampostería. El más usual es el arreglo en Soga, mientras que el arreglo en pila resulta prohibitivo en la mampostería no armada.

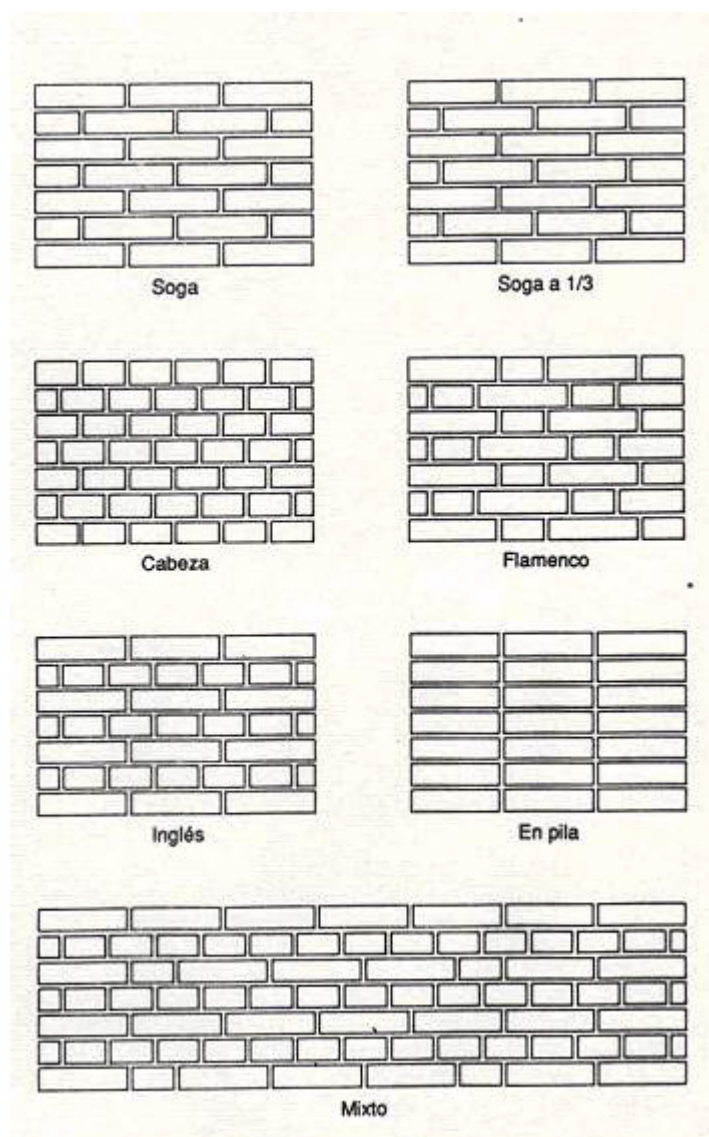


Figura 1-1 – Mampostería Simple

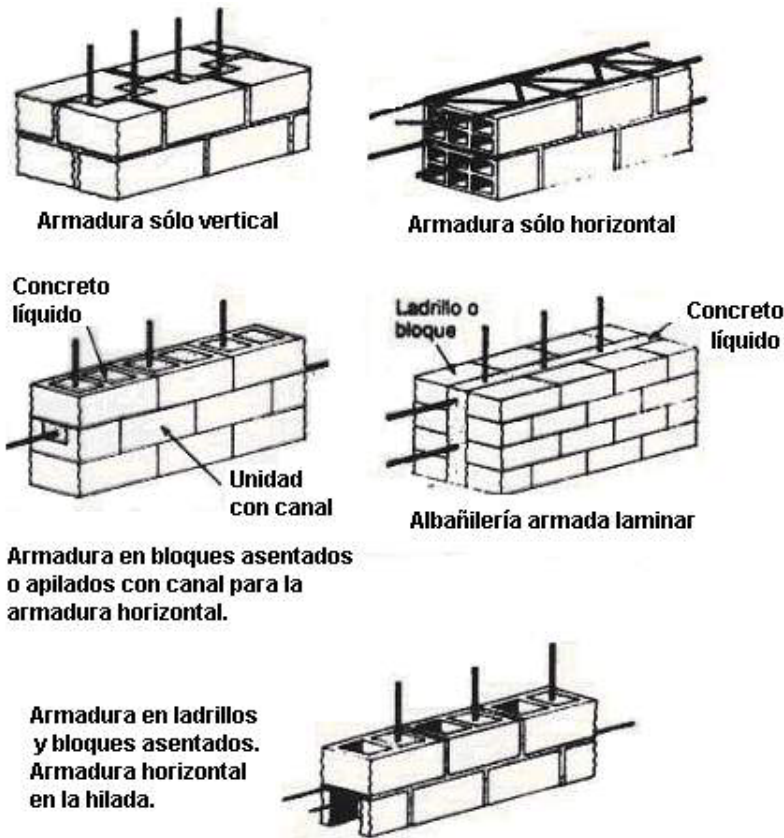


Figura 1-2– Mampostería Armada

En la Figura 1-2 se muestran ejemplos de utilización de mampostería armada y en la Figura 1-3 se muestra un esquema de lo que se denomina mampostería confinada, que analizaremos más adelante.

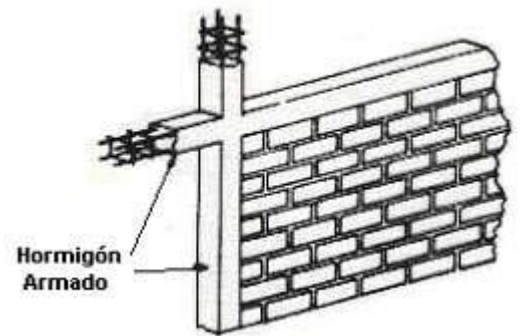


Figura 1-3 – Mampostería Confinada

En la Figura 1-4 y la Figura 1-5 se muestra una obra del Ing. Eladio Dieste, cuya estabilidad solo puede concebirse con el uso de mampostería postensada.

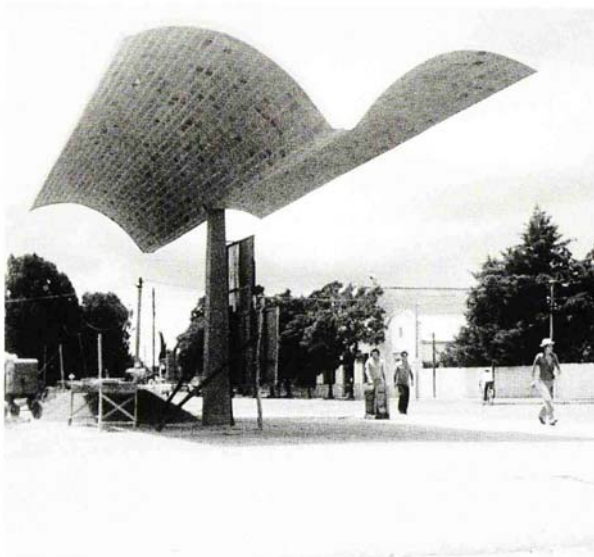


Figura 1-4 – Mampostería postensada.



Figura 1-5

1.2. ASPECTOS HISTÓRICOS

El uso de la mampostería se remonta a épocas prehistóricas, cuando se utilizaba desde piedras montadas unas sobre otras para construir refugios, para luego pasar a la utilización de piedras unidas con morteros de barro. Mas tarde se sustituyeron las piedras por masa de barro secada al sol a lo cual se le denomina unidad de albañilería.

Las unidades de barro formadas a mano y secadas al sol y el mortero de barro constituyen el estado del arte de la construcción en mampostería. Más adelante las unidades comenzaron a hacerse con moldes, lo cual fue un avance pues posibilitó la producción rápida de unidades iguales.

El Adobe es una masa de barro mezclada con paja a la cual se le da forma prismática a partir de un molde y se lo deja secar al sol. El adobe comenzó a secarse en horno 3000 años AC. En este caso la mampostería se conformaba con las piezas de adobe y betún o alquitrán al cual se le añadía arena.

En Roma se inventó el mortero de cemento y cal, donde se construyen arcos bóvedas y cúpulas de mampostería. Luego del siglo V por varios siglos se interrumpen los avances de la tecnología de la mampostería y hasta se retrocede, se dejan de fabricar ladrillos y los morteros de cemento y cal desaparecen. En el siglo XII se empiezan a construir arcos góticos y bóvedas que posibilitan cubrir grandes luces. Los muros se hacen mas esbeltos y se les colocan contrafuertes. Mas adelante en el siglo XVIII con la revolución industrial se empiezan a elaborar ladrillos de arcilla en grandes fábricas, en las cuales poco a poco se fueron perfeccionando los hornos utilizados. Se comenzaron a analizar las materias primas, se midió la temperatura adecuada de los hornos para impedir el agrietamiento de los ladrillos. A finales del siglo XVIII y XIX se dieron los siguientes avances: se inventa el cemento Pórtland; se inventa la máquina para extruir los ladrillos de arcilla; se inventa el horno de producción continua; se inventa el bloque de hormigón; se comienza a estudiar la mampostería reforzada.

Antiguamente las construcciones se hacían en mampostería pero simplemente se basaba en resultados experimentales sobre construcciones hechas anteriormente, pero al carecer completamente de estudios teóricos o ensayo alguno se obtenían construcciones de dimensiones muy exageradas. A fines de 1800 se construyeron edificios de mampostería de 16 pisos de altura, pero el material estructural ocupaba en la base el 25% del área total, por lo que no era competitivo. El problema no se encontraba en el material empleado en si mismo sino en el desconocimiento de su capacidad, lo cual no genera dimensionados racionales. En los últimos años el uso de la mampostería se ha racionalizado y se han realizado estudios teóricos lo cual posibilitó la construcción de edificios de 20 pisos con muros de menos de 32cm de espesor.

Con el desarrollo del hormigón armado y los avances en los métodos de cálculo la mampostería como elemento estructural se vio desplazada en cuanto a su uso en obra por el hormigón armado.

Para que la mampostería pueda volver a competir con el hormigón se debe mejorar tanto en los aspectos teóricos relativos al diseño, como en las características de los materiales con los que se trabaja, como en la determinación de dichas características, pues cuanto más seguridad exista sobre el conocimiento de las características de los materiales con los que se trabaja menores serán los coeficientes de seguridad a tener en cuenta en el diseño.

1.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA MAMPOSTERÍA.

✘ *Heterogeneidad*

La mampostería es un material compuesto por dos materiales: Mampuestos y Mortero siguiendo alguno de los ordenamientos mostrados en la Figura 1-1. Esto hace que las características no sean uniformes. A modo de ejemplo que la resistencia a tracción mortero, la resistencia a tracción del mampuesto y la resistencia a tracción en entre mortero y mampuesto serán magnitudes diferentes.

✘ *Anisotropía*

El hecho de que la mampostería se componga de los materiales antes mencionados no sólo provoca heterogeneidad sino que también provoca anisotropía, o sea, el comportamiento del material depende de la dirección de aplicación de las cargas.

A modo de ejemplo, la mampostería no va a resistir una sollicitación que genere un momento flector cuyo vector es paralelo a la junta como el mostrado en la Figura 1-6 de la misma forma que otra con momento flector con vector perpendicular a la junta como el mostrado en la Figura 1-7.

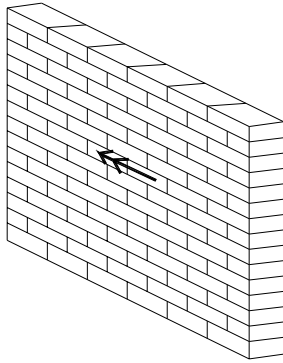


Figura 1-6 – Vector momento paralelo a la junta

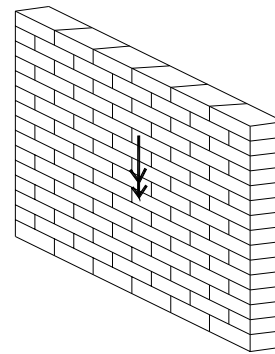


Figura 1-7 – Vector momento perpendicular a la junta

✘ *Resistencia a compresión vs. Resistencia a tracción*

La mampostería es un material que presenta una buena resistencia a compresión, tiene un buen comportamiento frente a cargas verticales y horizontales paralelas a su plano, pero tiene muy poca resistencia a tracción por lo que no es muy resistente frente a cargas horizontales perpendiculares a su plano. Por lo tanto se debe aprovechar al máximo su resistencia a compresión para compensar la poca resistencia a tracción que posee..

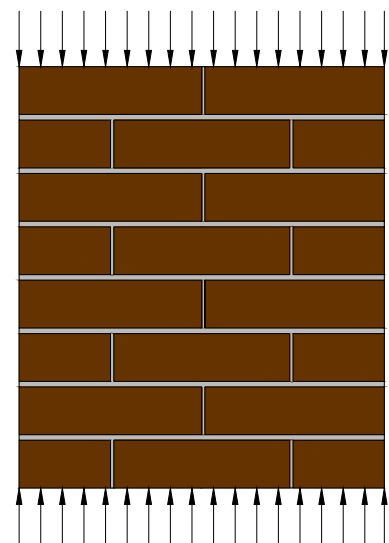


Figura 1-8 – Compresión perpendicular a la junta.

✘ *Variabilidad*

La resistencia de los elementos de mampostería depende de varios factores. Entre ellos las características físicas y mecánicas de los materiales empleados y la técnica constructiva utilizada: resistencia del mampuesto; geometría de la unidad; resistencia del mortero; espesor de la junta; tasa de succión inicial del mampuesto; retentividad de agua del mortero; calidad de la mano de obra. Todos estos factores hacen que la mampostería tenga una gran variabilidad.

Por mayores que sean los controles en la fabricación de cada uno de los materiales con los que se forma la mampostería, el toque ‘artesanal’ dado por la mano de quien ‘levanta el muro’ de mampostería hace que el material tenga una gran variabilidad. Si a esto se le suma, el hecho de que las propiedades de la misma dependen, como se verá más adelante, de las condiciones de humedad ambiente, temperatura, etc. hace que sea muy dificultoso la caracterización de las propiedades de la mampostería.

Esta es una dificultad que se presenta en la mampostería a diferencia, por ejemplo del hormigón o el acero. Si se desea hacer un hormigón de 250 Kg/cm², luego de dosificarlo y hacer algunas pruebas se podrá obtener en una planta hormigonera un material que asegure que se alcanza este valor de resistencia a la compresión. Esto resulta más difícil de alcanzar en la mampostería, lo cual trae aparejado mayores coeficientes de seguridad en cuanto a las propiedades resistentes de dicho material.

1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA MAMPOSTERÍA

✘ *Ventajas*

- *Menores costos:* Se optimizan los costos al utilizar los muros como portantes.
- *Se eliminan vigas y pilares:* esto trae como consecuencia que las cargas lleguen a las fundaciones mas distribuidas (en los muros) por lo que las tensiones van a ser menores.
- *Baja especialización:* Los trabajos de mampostería en general no requieren personal altamente calificado lo cual resulta económico.
- *Rápida ejecución:* Se obtiene una mayor velocidad al no tener que esperar tiempos de fraguado menores que en el hormigón.
- *Aislamiento:* La mampostería brinda una buena aislamiento térmica y acústica.
- *Estética:* Las obras realizadas en mampostería son de buena calidad estética. Basta recordar obras como las del Ing. Eladio Dieste.
- *Durabilidad:* La mampostería (no armada) no presenta problemas de corrosión como las estructuras de hormigón armado, por lo cual se obtienen mayor durabilidad.
- *Resistencia al fuego:* La resistencia al fuego es mayor que con otros tipos de estructuras, tanto de hormigón armado como de madera.
- *Reparación y mantenimiento:* Ambos resultan simples.

- *Facilidad de combinar*: Resulta simple combinar la mampostería con otros materiales, por ejemplo para resistir tracciones.
- Se dispone de mampuestos de diversas dimensiones.

✘ *Desventajas*

- *Restricciones arquitectónicas*: En las estructuras de mampostería estructural las condiciones arquitectónicas son más restrictivas. Se necesitan ciertas condiciones de regularidad y simetría.
- *Necesidad de combinar con acero u hormigón armado*: por ejemplo para losas, vigas de carrera, dinteles, etc.
- *Falta de conocimiento para su correcta utilización*: Este es un punto crucial, pues existen grandes restricciones por la falta de conocimiento. Otro punto importante es que en general el ingeniero se enfrenta a proyectos ya diseñados por arquitectos, en los cuales no se tuvieron en cuenta condiciones de simetría que permitan su construcción en mampostería estructural, por lo cual se suele pasar a la clásica solución de hormigón armado.
- *Poca posibilidad de modificaciones*
- *Necesidad de conocimiento de los mampuestos*: Los fabricantes en general no brindan buena información. Además, actualmente en Uruguay existen muy limitadas posibilidades de conseguir mampuestos en condiciones que puedan brindar resistencias adecuadas.
- *No es buena para su uso en fundaciones*.
- *Canalizaciones*: El proyecto de mampostería estructural debe estar integrado con los proyectos de sanitaria y eléctrica, por lo que se necesita una buena coordinación entre profesionales de distintas áreas. Es común que una vez levantados los muros, el electricista haga canaletas en donde su conciencia le dicte para pasar los cables, reduciendo así el espesor del muro. En las estructuras de hormigón armado esto no es problema, pero en una estructura de muro portante sí, por lo que las canalizaciones tanto para eléctrica como para sanitaria deberán estar previstas de antemano.

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

2.1. MAMPUESTOS

Cuando hablamos de Mampuestos, nos referimos a ‘elementos que se colocan con la mano’, su denominación es acorde al método constructivo. Dentro de las diferentes unidades de mampostería podemos encontrar ladrillos cerámicos macizos, ticholos cerámicos, bloques de hormigón y otros.

2.1.1. Ladrillos cerámicos macizos

Dimensiones promedio en Uruguay: 25·12·5.5cm . Independientemente de que tengan orificios o no, para denominarlos ‘macizos’, deben cumplir los siguientes requisitos:

- El área neta debe ser mayor que el 80% del área bruta.
- Cada agujero debe ser menor que 4% del área bruta.
- El espesor de las paredes debe ser al menos de 2.5cm.

2.1.2. Ticholos

Existen diversos tipos de ticholos, los más usuales son de 25·25·12cm, 25·25·17cm, 25·25·7.5cm , aunque no hay estándares establecidos en Uruguay.

- El área neta debe ser mayor que el 60% del área bruta para poder ser considerados como estructurales. Los ticholos de 25·25·12cm usualmente no cumplen esta condición.
- La altura de los mampuestos tiene que ser menor que su longitud con excepción de los medio mampuestos.
- No se admite la utilización de mampuestos huecos dispuestos con tubos horizontales debido al comportamiento frágil que presentan.
- Se deberá tener especial cuidado en el llenado de las juntas horizontales para asegurar la correcta adherencia mampuesto - mortero.

2.1.3. Bloques de hormigón

Sus dimensiones promedio son similares a las de los ticholos, así como también lo son las condiciones exigidas para ser considerados como estructurales. Son por ej 40·20·20cm .

2.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS DISTINTOS COMPONENTES

Se define como resistencia característica al valor que supera el 95% de las piezas ensayadas. El valor puede ser garantido por el fabricante o se determinado en forma experimental.

2.2.1. Resistencia característica a compresión de los mampuestos

2.2.1.1. Determinación de la resistencia a compresión de los mampuestos f_b

La resistencia a compresión de los mampuestos se determina por medio de una compresión uniforme del mismo en sentido perpendicular a la cara de asiento.

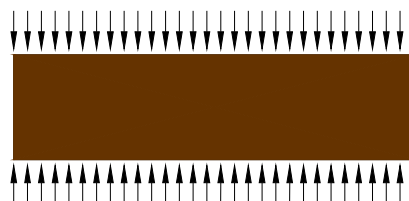


Figura 2-1 – Resistencia a compresión de los mampuestos.



Figura 2-2 – Determinación del área de asiento.

El primer paso será entonces determinar el área de asiento de cada mampuesto. Se realizan al menos dos medidas del ancho y del largo del mampuesto para determinar los valores medios con los que se calcula el área.

Para el ensayo a compresión se encabezan los mampuestos con tablas compensadas de 3mm. de espesor.

El ensayo se realiza hasta que el mampuesto no pueda soportar incremento de carga.



Figura 2-3 – Encabezado.

2.2.1.2. Determinación de la resistencia característica a compresión de mampuestos f_{bk}

Para la determinación de la resistencia característica a compresión de los mampuestos se deberá tener una muestra representativa de no menos de 30 unidades.

El valor de la resistencia característica se calcula según la ecuación (2-1) el siguiente valor:

$$f_{bk} = f_{bm} (1 - 1.7 \cdot c_v) \quad (2-1)$$

Siendo:

f_{bk} : la resistencia característica del mampuesto considerado

f_{bm} el promedio de las resistencias determinadas mediante los ensayos correspondientes

c_v el coeficiente de variación calculado como el cociente entre la desviación estándar y el promedio de las resistencias, determinado mediante los ensayos correspondientes. Este valor no podrá ser tomado menor a 0.12

Fórmulas estadísticas a utilizar (2-2), (2-3) y (2-4):

x_1, x_2, \dots, x_n valores de resistencia a compresión resultantes de cada ensayo.

n número de mampuestos ensayados

$$f_{bm} = \left(\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \right) \quad (2-2)$$

$$s = \sqrt{\frac{(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2) - \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n)^2}{n}}{n - 1}} \quad (2-3)$$

$$c_v = \frac{s}{f_{bm}}, c_v \geq 0,12 \quad (2-4)$$

Para el caso de querer ensayar menos de 30 unidades, se podrá calcular la resistencia característica según las Ecuaciones (2-5), (2-6) y (2-7) dependiendo del control de elaboración de los mampuestos.

- Para mampuestos elaborados en fábricas mecanizadas y con control permanente de calidad

$$f_{bk} = 0.75 \cdot f_{bm} \quad (2-5)$$

- Para mampuestos elaborados en fábricas mecanizadas y con control no permanente de calidad

$$f_{bk} = 0.65 \cdot f_{bm} \quad (2-6)$$

- Para mampuestos elaborados sin control de calidad

$$f_{bk} = 0.55 \cdot f_{bm} \quad (2-7)$$

Para los 3 casos anteriores se ensayarán como mínimo 3 lotes de 5 unidades cada uno.

2.2.2. Condiciones de resistencia y utilización de los mampuestos

Todo mampuesto debe cumplir que su ancho sea mayor que 11 cm.

- Para ladrillos cerámicos macizos usados en paredes resistentes la resistencia característica será como mínimo de 4.5MPa. En dicho caso, se clasifican en Clase A y B.
 - Para que sean **Clase A** la resistencia debe ser mayor a 8MPa y se pueden utilizar para todo edificio.
 - Para que sean **Clase B** la resistencia debe ser mayor a 4.5MPa y se pueden utilizar para edificios de menos de 7m y menos de dos pisos de altura.
- Para ladrillos cerámicos huecos usados en paredes resistentes la resistencia característica será como mínimo de 4.5MPa y el área neta mayor que el 40% del área bruta. Además deben cumplir que la resistencia a compresión paralela al plano de asiento sea mayor que 1MPa. Las paredes internas y externas deben tener respectivamente 6 y 8mm. Deben tener al menos una pared interna paralela al plano de la pared. La suma de los espesores de las paredes internas y externas deberá ser no menor que 1/5 del ancho del mampuesto. Se clasifican en Clase A y B.
 - Para que sean Clase A la resistencia debe ser mayor a 8MPa y el área neta mayor que el 60% del área bruta y se pueden utilizar para todo edificio.
 - Para que sean Clase B la resistencia debe ser mayor a 4.5MPa y el área neta mayor que el 40% del área bruta y se pueden utilizar para edificios de menos de 7m y menos de dos pisos de altura.

Para boques huecos de hormigón usados en paredes resistentes la resistencia característica será como mínimo de 4.5MPa y el área neta mayor que el 40% del área bruta. Se clasifican en Clase A y B, en forma análoga a los ladrillos cerámicos huecos.

2.2.3. Condiciones de resistencia y utilización de los morteros

Los morteros utilizados en mampostería estructural se tipifican según la resistencia característica a compresión a los 28 días.

Se distinguen tres tipos según su resistencia característica a la compresión. Las resistencias correspondientes a los diferentes tipos se muestran en la Tabla 2-1

Tipo de Mortero	Resistencia Característica (Mpa)
E (Elevada)	15
I (Intermedia)	10
N (Normal)	5

Tabla 2-1 – Tipos de Morteros.

✘ **Condiciones que se deben cumplir:**

- La resistencia a compresión mínima a los 28 días debe ser de 5MPa.
- El volumen de arena debe estar comprendido entre 2.25 y 3 veces la suma de cemento y cal.
- La cantidad de agua a utilizar será la mínima para lograr la trabajabilidad adecuada.
- No se admiten morteros solo de cal.
- No utilizar cal si las juntas tienen armadura

Las proporciones de los distintos elementos se observan en la Tabla 2-2

MORTERO TIPO	PROPORCIONES			RESISTENCIA MÍNIMA (MPa)
	CEMENTO PORTLAND	CAL (min - max)	ARENA SUELTA	
E	1	0 - 1/4	No menos de 2,25 ni más de 3 veces la suma de los volúmenes de cemento y cal	15
I	1	1/4 - 1/2		10
N	1	1/2 - 1 y 1/2		5

Tabla 2-2 – Composición de los diferentes tipos de morteros.

2.3. RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA

Las cualidades resistentes de la mampostería se caracterizan mediante los siguientes parámetros:

- ✘ Resistencia característica a compresión: f_k
- ✘ Resistencia característica al corte: τ_{ok}
- ✘ Resistencia característica a tracción por flexión: f_{kx} y f_{ky}

2.3.1. Resistencia característica a compresión de la mampostería

La resistencia característica a compresión se calcula según el área bruta de asiento. Se considera como edad de referencia los 28 días. La elección de f_k se realiza en la etapa de proyecto y se verifica en la etapa de construcción.

Se puede determinar según 3 procedimientos:

- ✘ A) Ensayos a compresión de prismas.
- ✘ B) Resistencia de mampuestos y morteros tipificados.
- ✘ C) Valores indicativos.

La realización de ensayos a compresión de prismas es el método más confiable, por lo que en caso de no realizarse este método, se tendrán penalizaciones en los valores máximos admitidos que veremos más adelante.

2.3.1.1. Ensayos a compresión de prismas

El valor de resistencia obtenido por este método no podrá ser mayor que dos veces los valores indicativos obtenidos en el procedimiento C) (valores indicativos).

Los prismas a ensayar deberán elaborarse reflejando las condiciones y calidad de materiales y mano de obra que se tendrán en la construcción.

Estarán formados, como mínimo por tres mampuestos superpuestos y no podrán tener una altura menor a 35cm.

La esbeltez, definida como la relación entre la altura y el espesor de la probeta ($\lambda = \frac{h}{t}$) será no menor que 2.5 ni mayor que 5. Se recomienda utilizar una esbeltez de 4, si esto no fuera posible, se multiplicará el valor de resistencia por los factores de corrección mostrados en la Tabla 2-3.

Esbeltez	Factor de corrección
2,5	0,83
3	0,9
3,5	0,95
4	1
4,5	1,02
5	1,05

Tabla 2-3 – Factores de corrección por esbeltez en prismas.

Se ensayarán como mínimo 5 prismas. Si se ensayaran a los 7 días el valor de resistencia se deberá corregir con un factor de 1.1.

Los ensayos de primas se realizarán según la norma BS5628



Figura 2-4 – Prisma utilizado para el ensayo de determinación de f_k



Figura 2-5 – Ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de la mampostería.

✘ Fórmulas estadísticas a utilizar para determinar la resistencia característica a compresión (2-8), (2-9), (2-10) y (2-11):

x_1, x_2, \dots, x_n valores resultantes de cada ensayo.

y_1, y_2, \dots, y_n logaritmo de los valores resultantes de cada ensayo ($y_i = \log(x_i)$).

n número de ensayos

$$y_k = y_m - a \cdot s \quad (2-8)$$

$$y_{\text{medio}} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (2-9)$$

$$s = \sqrt{\frac{(y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2) - \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_n)^2}{n}}{n-1}} \quad (2-10)$$

$$f_k = \text{anti log}(y_k) \quad (2-11)$$

Los parámetros que influyen en el valor obtenido de resistencia son:

- ✘ Características del mampuesto
- ✘ Características del mortero
- ✘ Esbeltez del prisma
- ✘ Edad del prisma
- ✘ Encabezado del prisma
- ✘ Espesor de la junta
- ✘ Condiciones durante la elaboración
- ✘ Sentido en que se carga (caso extremo en ticholos)

2.3.1.1.1 *Deformabilidad de la mampostería*

Para empezar a hablar de deformabilidad se debe tener claro que la mampostería es un material anisótropo, por lo tanto la deformabilidad de la mampostería va a depender no sólo del tipo de carga aplicada sino también de la dirección en la que se aplica la misma.

Para determinar el módulo de elasticidad de la mampostería con compresión perpendicular a la junta, se debe implementar un sistema de medida de deformaciones para medirlas en el ensayo de compresión en prismas mostrado en la Figura 2-5. Existen diversas formas de realizar esto, ya sea con “puntos Demecs” o con “LVDT’s”. La desventaja que tiene el primer sistema es que es un sistema manual, por lo cual la carga se deberá aplicar en forma escalonada a fin de poder tomar las medidas. Por el contrario, el segundo sistema permite tomar medidas en forma continua, sin variar la velocidad de carga establecida en la norma británica BS 5628 [5] para el ensayo de compresión. Este sistema presenta la potencialidad de adquirir los datos en tiempo real mediante el uso del software adecuado y así obtener un diagrama tensión-deformación continuo.

En la ecuación (2-14) se muestra una relación entre el módulo de elasticidad a compresión y la resistencia característica de la mampostería a compresión para el caso que se apliquen *cargas dinámicas*.

$$E_M = 800 \cdot f_k \quad (2-12)$$

Para *cargas de larga duración* la relación es la de la ecuación (2-13):

$$E_M = 300 \cdot f_k \quad (2-13)$$

Ambas correlaciones son conservadoras.

2.3.1.2. *Resistencia de mampuestos y morteros tipificados*

Cuando no resulte posible la ejecución de ensayos sobre prismas, se podrá determinar la resistencia a compresión de la mampostería a partir de la resistencia característica a compresión de los mampuestos y el mortero utilizados.

El valor de resistencia obtenido por este método no podrá ser mayor que una vez y media los valores indicativos obtenidos en el procedimiento c) (punto 3.3.1.3)

La correlación entre la resistencia característica de la mampostería y de los mampuestos (d) depende del tipo de mampuesto y mortero utilizado.

$$f_k = d \cdot f_{bk} \quad (2-14)$$

2.3.1.3. Valores indicativos

Valores indicativos de resistencia a compresión de la mampostería en Mpa.			
Tipo de mampuesto \ Tipo de Mortero	Resistencia elevada (E)	Resistencia intermedia (I)	Resistencia normal (N)
Ladrillo cerámico macizo Clase A	4	3,5	3
Ladrillo cerámico macizo Clase B	2,5	2	1,5
Ladrillo huecos portantes cerámico Clase A	3	2,5	2
Ladrillo huecos portantes cerámico Clase B	2	1,5	1,2
Bloques huecos portantes de hormigón Clase A	3	2,5	1,5
Bloques huecos portantes de hormigón Clase B	2	1,5	1,2

Tabla 2-4 – Valores indicativos de resistencia a compresión de la mampostería según tipo de mampuesto y mortero (MPa).

2.3.2. Interacción mampuesto – junta de mortero bajo cargas de compresión

A partir de ensayos a compresión de mampostería se pudo observar que la falla se produce por la generación de fisuras verticales debidas a tensiones paralelas al eje de aplicación de la carga, que aparecen debido a la restricción de deformación que tiene el mortero en la junta.

La rotura se da a valores menores que la rotura de mampuestos aislados (ecuación (2-15)). Esto es causado debido a que el fenómeno generado en ambos casos es diferente. Mientras que los mampuestos aislados fallan por compresión, los prismas fallan por tracción del mampuesto debido a la interacción mampuesto – mortero. Generalmente resisten la mitad.

Si se compara con la resistencia del mortero, esta última va a ser menor. La relación encontrada entre estos parámetros en nuestro medio es diferente a la que aparece en la bibliografía.

$$\text{resist.prisma} \approx \sqrt{\text{resist.mampuesto}} \quad (2-15)$$

$$\text{resist.prisma} _ \text{prop} \sqrt[3]{\text{resist.mortero}} \quad (2-16)$$

De la incidencia del mortero se puede concluir que no es un factor preponderante en la resistencia de la mampostería, pero es determinante.

A partir de ensayos con distintos materiales como relleno de junta se pudo concluir que para el caso de utilizar materiales muy deformables (goma) la falla se produjo por tracciones inducidas por la deformación de la goma y para el caso de utilizar materiales muy rígidos como el acero la falla se dio por compresión debido a que las deformaciones generadas no eran significativas.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores y en base a un análisis elástico se determina la resistencia a compresión de la mampostería:

En la Figura 2-6 se observa la teoría elástica de falla seguida.

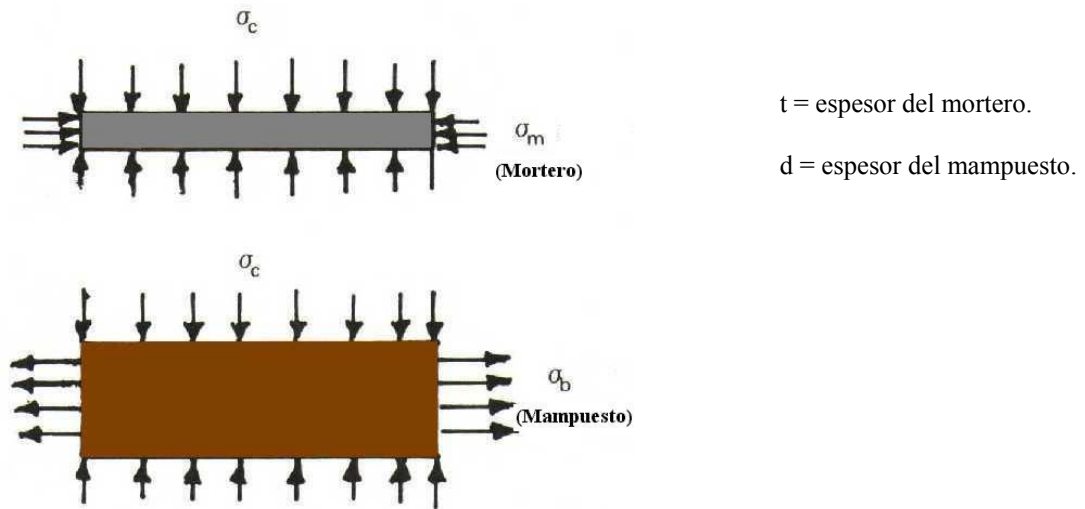


Figura 2-6 – Esquema de rotura a compresión de la mampostería.

Utilizando la ecuación constitutiva de un material elástico se relaciona la deformación transversal del mortero (en la dirección de la carga aplicada) con las tensiones aplicadas sobre el mismo:

$$\epsilon_m = -\frac{\sigma_m}{E_m} + \nu_m \cdot \frac{\sigma_c}{E_m} \quad (2-17)$$

Se realiza lo mismo con el mampuesto:

$$\epsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b} + \nu_b \cdot \frac{\sigma_c}{E_b} \quad (2-18)$$

Mientras que haya adherencia entre ambos materiales, o sea, mientras aún no se haya producido la falla, las deformaciones transversales serán iguales.

$$\epsilon_m = \epsilon_b \quad (2-19)$$

Por otra parte, por equilibrio se debe cumplir:

$$t \cdot \sigma_m = d \cdot \sigma_b \quad (2-20)$$

Por lo tanto

$$\sigma_m = r \cdot \sigma_b \quad (2-21)$$

Donde

$$r = \frac{d}{t} \quad (2-22)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2-17) y (2-18) en la (2-19) obtenemos:

$$\sigma_b \cdot \left(\frac{1}{E_b} + \frac{r}{E_m} \right) = \sigma_c \cdot \left(\frac{\nu_m}{E_m} - \frac{\nu_b}{E_b} \right) \quad (2-23)$$

Definiendo

$$\frac{E_b}{E_m} = m \quad (2-24)$$

Se obtiene

$$\sigma_b = \left(\frac{v_m \cdot m - v_b}{1 + r \cdot m} \right) \cdot \sigma_c \quad (2-25)$$

Con esta relación se puede hallar la deformación transversal del mampuesto sustituyendo en la ecuación (2-17):

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_c}{E_b} \cdot \left(v_b + \frac{v_m \cdot m - v_b}{1 + r \cdot m} \right) \quad (2-26)$$

Se analizarán a continuación dos criterios de falla.

2.3.2.1. Teoría de falla basada en deformación límite del mampuesto

Es necesario introducir un criterio de falla. Teniendo en cuenta que, como se mencionó anteriormente, en los ensayos a compresión se observa una fisura vertical originada por la tracción transversal del mampuesto, un posible criterio a tomar es que la falla se produce cuando el mampuesto alcanza una cierta deformación ε_{ult} característica de cada mampuesto. El criterio de falla podrá expresarse como:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{ult} \quad (2-27)$$

Entonces se puede relacionar la tensión de compresión que produce la falla en función de parámetros característicos del mortero (E_m y v_m), parámetros característicos del mampuesto (E_b , v_b y ε_{ult}), así como del parámetro r que relaciona el espesor de junta con el espesor del mampuesto.

$$\sigma_{c \text{ falla}} = \frac{E_b \cdot \varepsilon_{ult}}{v_b + \frac{v_m \cdot m - v_b}{1 + r \cdot m}} \quad (2-28)$$

Fijado el tipo de mampuesto, r varía al variar el espesor de junta, por lo que puede resultar más interesante expresar la ecuación (2-28) como:

$$\sigma_{c \text{ falla}} = \frac{E_b \cdot \varepsilon_{ult}}{v_b + \frac{v_m \cdot m - v_b}{1 + \frac{d}{t} \cdot m}} \quad (2-29)$$

Fijado d (espesor del mampuesto) al aumentar t (es espesor de junta), disminuye el término $1 + \frac{d}{t} \cdot m$, por lo que aumenta el denominador, disminuyendo entonces $\sigma_{c \text{ falla}}$, por lo tanto la pieza resiste menos.

La dificultad de esta aproximación es que los materiales no se mantienen en el período elástico hasta la falla. De todos modos esta ecuación da una idea de los factores que controlan la resistencia a compresión de la mampostería.

Resultados experimentales extraídos de bibliografía [2], mostrados en la Figura 2-7, muestran que el aumento del espesor de junta reduce la resistencia como se dedujo a partir de la ecuación (2-29).

EFFECTO DEL ESPESOR DE LA JUNTA EN LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA

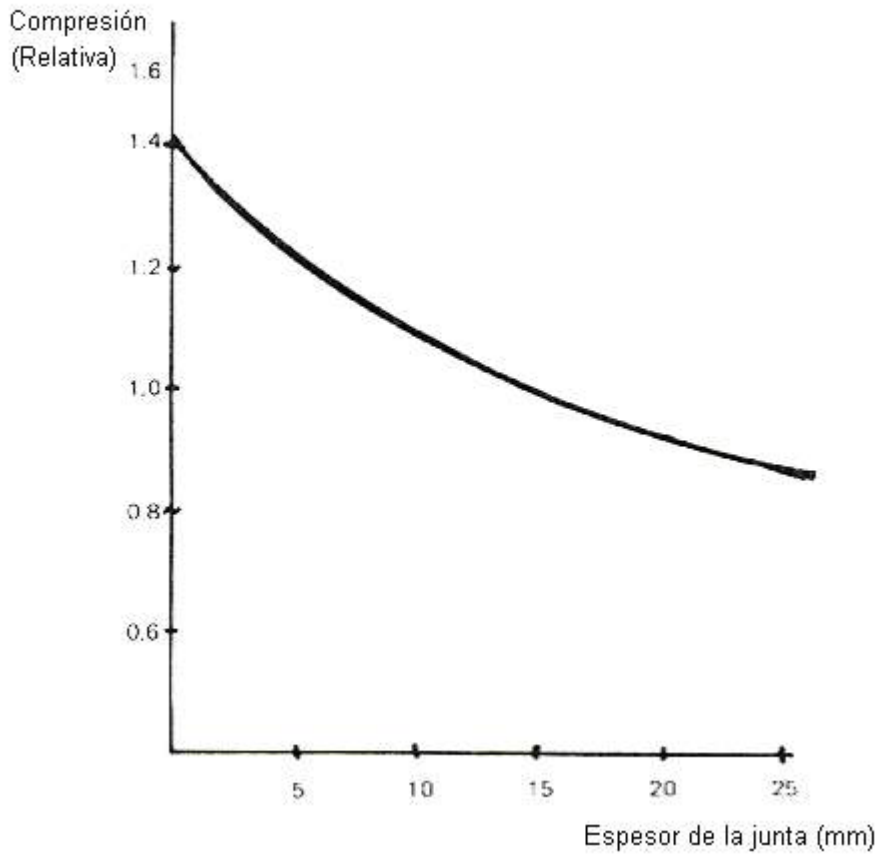


Figura 2-7 – Incidencia del espesor de junta en la resistencia a la compresión.

La bibliografía [3] muestra la siguiente variación de la resistencia a compresión con la edad de los prismas, dicha variación se muestra en la Figura 2-8

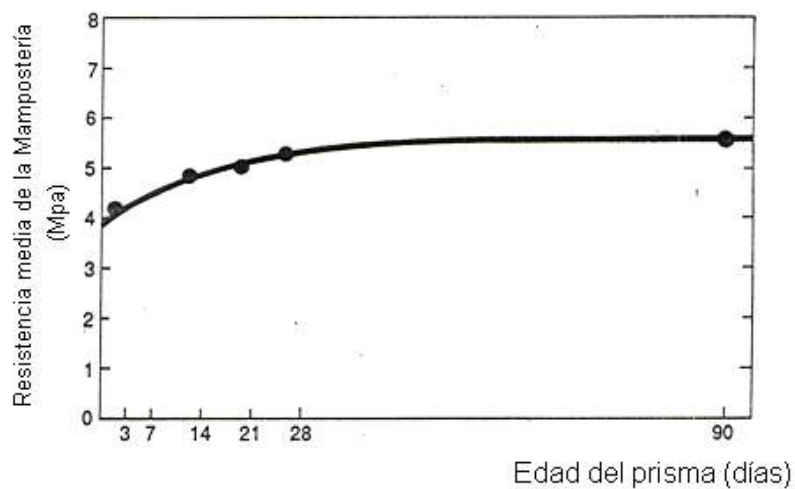


Figura 2-8 – Influencia del tiempo en la resistencia a compresión de la mampostería.

2.3.2.2. Teoría de falla basada en el estado tensional de ambos materiales

Anteriormente, se tomó como criterio de falla que el mampuesto llegara a una deformación límite. Otro criterio para definir la resistencia a compresión de la mampostería es el basado en consideraciones de compresión biaxial o triaxial de los componentes que la conforman.

Para analizar este criterio es necesario determinar una curva envolvente definida por los pares compresión vertical tracción horizontal (multiplicada por su espesor) que llevan a la falla de un mampuesto (Curva "A" de la Figura 2-9), así como la envolvente definida por las tensiones de compresión vertical y horizontal (por su espesor) para el mortero (Curva "B" de la Figura 2-9).

Según el estado de tensiones supuesto en la Figura 2-6, y dado que se trabaja con tensiones multiplicadas por su espesor, la ecuación (2-20) muestra que el punto de intersección de las dos curvas define la resistencia a compresión de esa mampostería (bibliografía [2]).

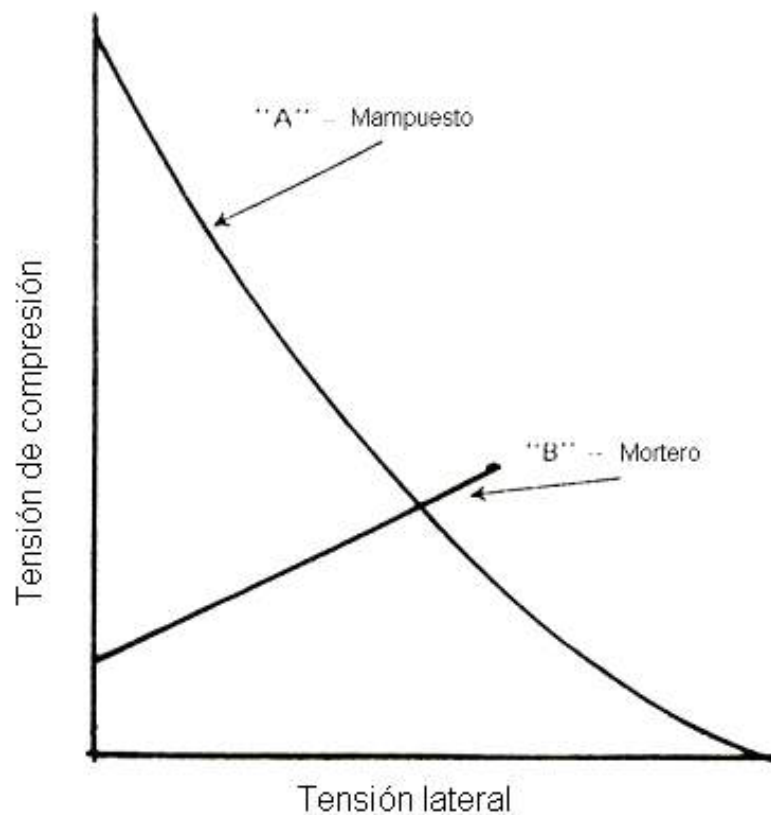


Figura 2-9 – Teoría del Estado Tensional de Falla

En este caso la dificultad resulta en determinar experimentalmente las curvas "A" y "B".

Otra relación importante es la que se encuentra entre la resistencia a compresión de la mampostería y la resistencia a compresión de sus componentes. En bibliografía [2] se muestra la gráfica de la Figura 2-10 en la que se asume un espesor de juntas de aproximadamente 1 cm.

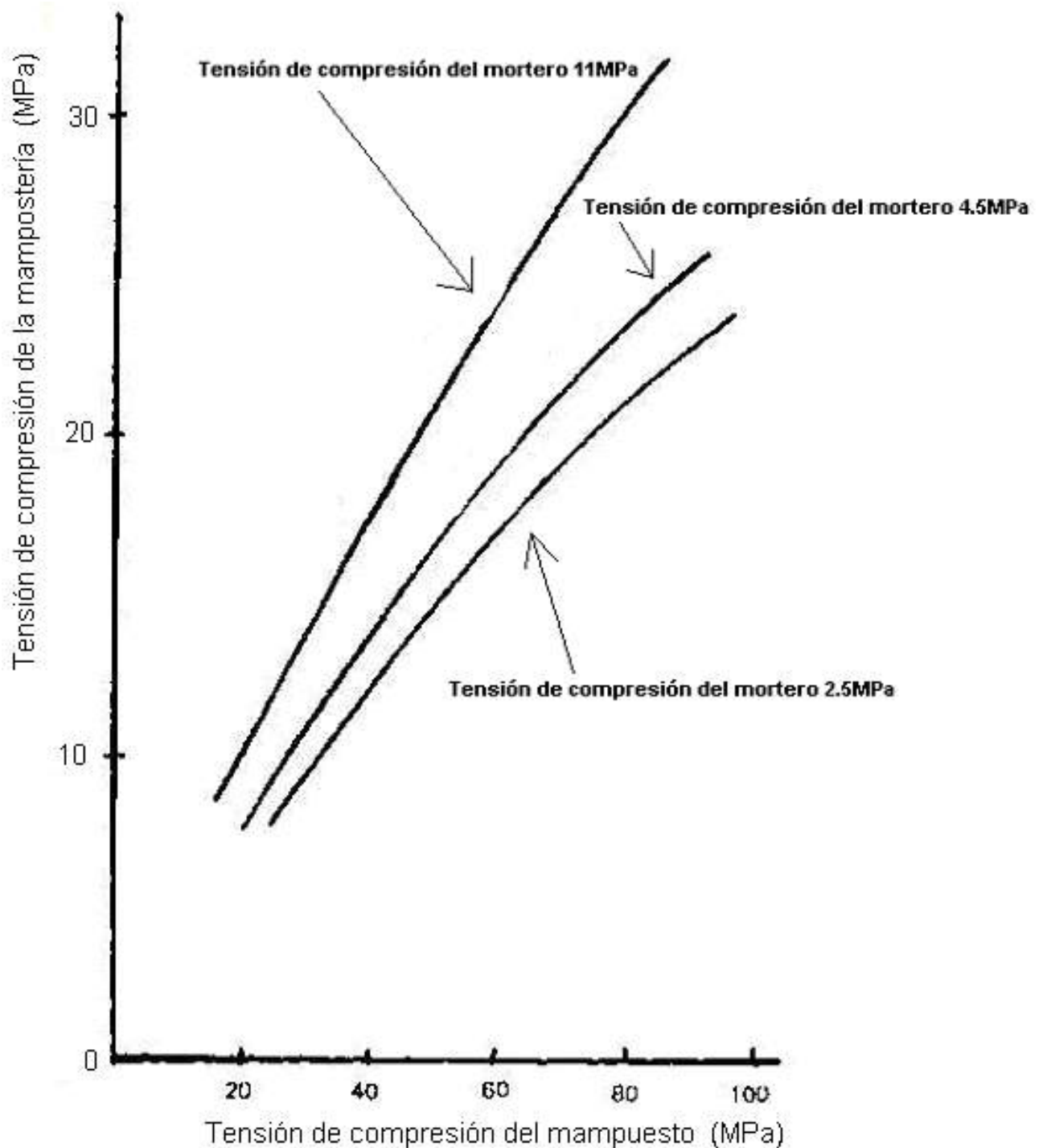


Figura 2-10 – Influencia de la resistencia a compresión de mampuestos y mortero en la resistencia a compresión de la mampostería.

Otros resultados que aparecen en bibliografía son:

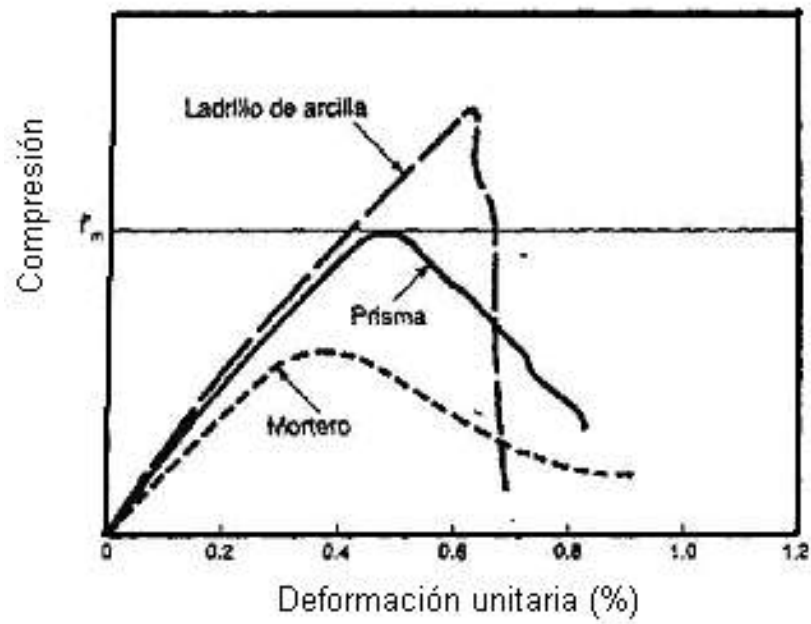


Figura 2-11

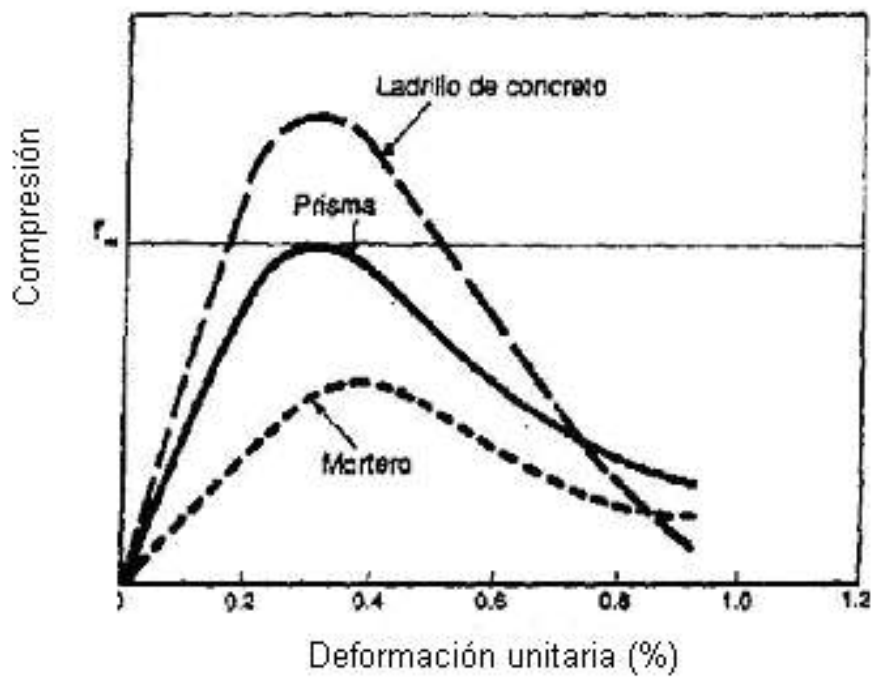


Figura 2-12

En la primera etapa de la investigación que el I.E.T. viene desarrollando desde 1991 se estudió el comportamiento a compresión de la mampostería estructural, y se analizó la variación de sus propiedades al varia el tipo de mortero y mampuesto. Para eso se tomaron diferentes dosificaciones de mortero y diferentes tipos de mampuestos nacionales, los que de ahora en más se identificarán como Fábrica 1, 2, 3 y 4- A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos.

En la Tabla 2-5 y Figura 2-13 se observan resultados obtenidos para diferentes morteros ensayados. Primero se ensayan las probetas a flexión y las dos mitades obtenidas a compresión. Dimensiones de las probetas: 4·4·16cm.

RESISTENCIA DE MORTEROS		
Mortero (Dossificación)	Tensión Media de Compresión (MPa)	Tracción por Flexión (MPa)
1:0:3	33	5,20
1:1/4:3	33,9	5,50
1:1/2:4 Y 1/2	15,10	3,40
1:1:6	10,10	2,40
1:2:9	4,70	1,30

Tabla 2-5 – Características resistentes de los distintos tipos de mortero.

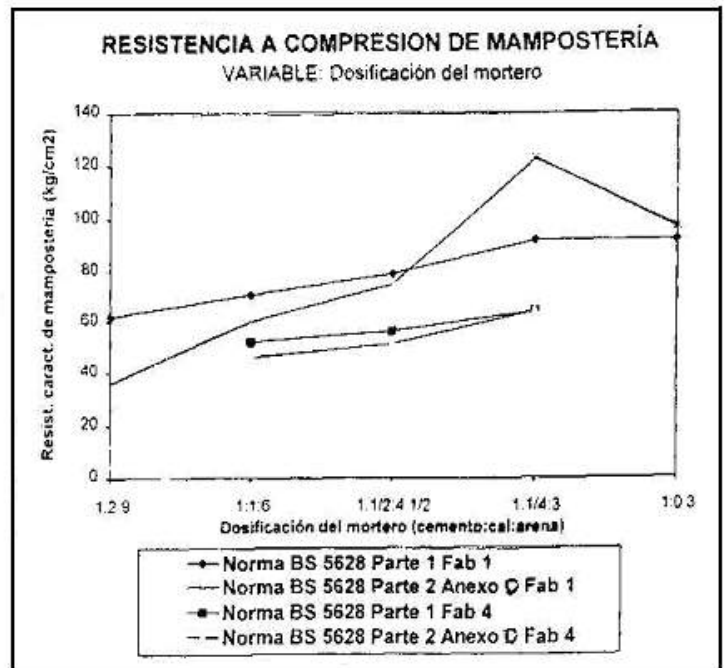


Figura 2-13 – Variación de la resistencia a la compresión de la mampostería con el tipo de Mortero (I.E.T.)

En la Tabla 2-6 se observan los resultados de distintos tipos de mampuestos y en el Figura 2-14 se observa la relación entre la resistencia de los mampuestos y la mampostería.

RESISTENCIA DE MAMPUESTOS				
Tipo de Mampuesto	Fábrica	Resistencia media a la compresión (MPa)	Desviación Estándar (MPa)	Resistencia característica a la compresión (MPa)
Rejilla recta	1	13,3	1,6	10,7
Rejilla rombo	4	10,7	2,7	6,3
Macizo	1	28,00	3,50	22,20
Macizo	2	35,00	2,80	30,20
Macizo	3	19,10	1,90	16,00

Tabla 2-6 – Resistencia de Mampuestos.

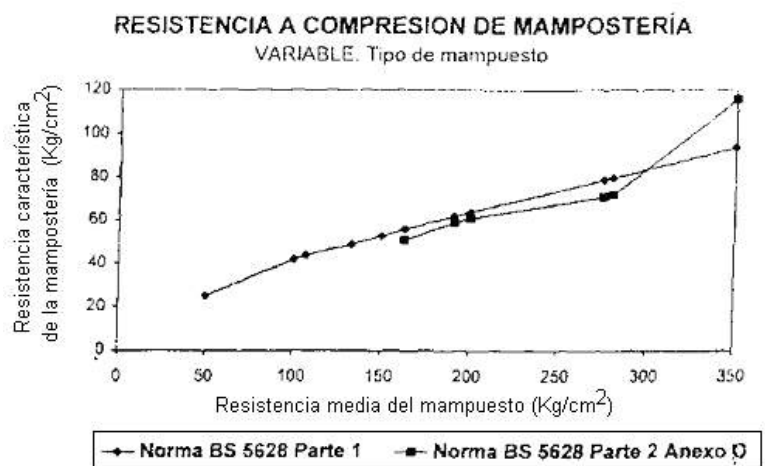


Figura 2-14 – Variación de la resistencia característica a compresión de la mampostería con la resistencia media del mampuesto.

Dimensiones medias del mampuesto (cm)	Resistencia media del mortero (MPa)	Resistencia media del mampuesto (MPa)	Succión media del mampuesto (gr/cm ² *min)	Fluidez del mortero (%)	Resistencia media de prismas (MPa)	Resistencia característica de prismas (MPa)	Rotura bajo carga de compresión de muro a escala real (MPa)
24.5*11.6*5.4	13,30	8,45	0,15	---	10,18	6,5	3,16
24.2*11.4*5.6	28,00	7,19	0,15	---	9,73	8,69	3,23
24.7*11.7*5.3	16,34	18,90	0,09	108,00	8,05	7,62	4,56
24.7*11.7*5.3	16,34	17,60	0,11	147,11	11,38	9,79	6,19

Tabla 2-7 – Variación de la resistencia característica a compresión de la mampostería con la resistencia media del mampuesto.

2.3.3. Resistencia característica a corte de la mampostería

El conocimiento del comportamiento de la mampostería sometido a sollicitaciones de corte y compresión es importante para la resistencia de edificios sometidos a fuerzas laterales.

En Uruguay estos esfuerzos laterales suelen ser generados por acciones del viento, aunque uno de los principales motivos de los estudios hechos en esta área a nivel mundial se deben a los efectos de los desplazamientos producidos por los sismos. En la Figura 2-15 se muestra la falla de un muro por efectos de un sismo.

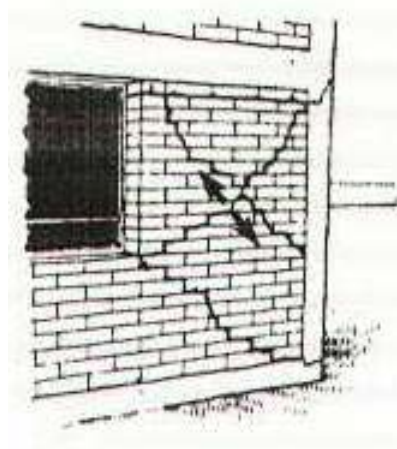


Figura 2-15 – Falla por corte generado por sismo.

El tipo de ensayo a realizar para determinar la resistencia característica de la mampostería al corte ($\tau_{0,k}$) estará necesariamente relacionado con el modo en que se produce la falla.

Se puede determinar según 2 procedimientos:

- ✘ A) Ensayos a compresión de muretes.
- ✘ B) Valores indicativos.

La realización de ensayos a corte de muretes es el método más confiable, por lo que en caso de no realizarse este método, se tendrán penalizaciones en los valores máximos admitidos que veremos más adelante.

2.3.3.1. Ensayos a corte de muretes

La resistencia característica al corte τ_{0k} de la mampostería se calcula con relación al área bruta correspondiente y se utiliza para su diseño y control. Se considera como edad de referencia los 28 días. La elección de τ_{0k} se realiza en la etapa de proyecto y se verifica en la etapa de construcción.

Según bibliografía [1], el valor de resistencia obtenido por este método no podrá ser mayor que 1.6 veces los valores indicativos obtenidos en el procedimiento B) (valores indicativos) para ladrillos cerámicos macizos y 1.3 veces para ladrillos o bloques huecos portantes cerámicos o de hormigón.

La longitud r de repartición de la carga aplicada P será, como mínimo, igual a 9cm. La relación r/l debe estar incluida en el siguiente rango: $0.125 \leq \frac{r}{l} \leq 0.185$

La resistencia al corte de cada murete ensayado τ_o se determinará (según (2-30) y (2-31)) dividiendo la proyección de la carga de rotura según la dirección paralela a la junta horizontal, sobre el área bruta de la sección transversal del murete según la misma dirección.

$$H = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot P \quad (2-30) \quad \tau_o = \frac{H}{l \cdot t} \quad (2-31)$$

Donde:

H: proyección de la carga de rotura sobre la dirección paralela

a la junta horizontal

P: carga de rotura a compresión diagonal

τ_o : resistencia al corte del murete ensayado

l: longitud del lado del murete ensayado

t: espesor del murete ensayado

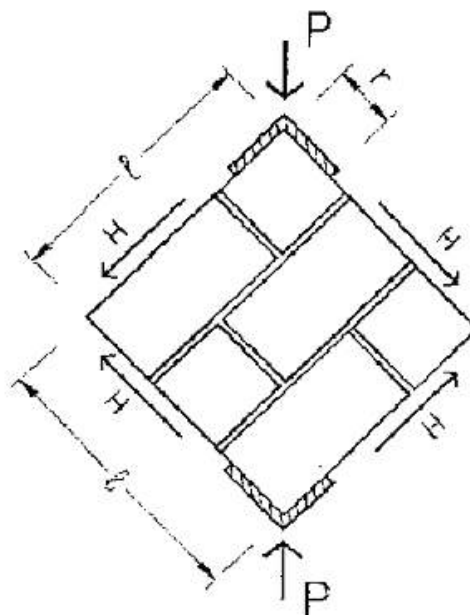


Figura 2-16 – Ensayo para la determinación de la resistencia característica al corte τ_{0k} .

Los muretes a ensayar deberán elaborarse reflejando las condiciones y calidad de materiales y mano de obra que se tendrán en la construcción.

Estarán formados, como mínimo por un mampuesto y medio en una dirección y un número adecuado de hiladas en la dirección perpendicular, de modo que el espécimen tenga forma aproximadamente cuadrada. Los lados del murete no podrán ser menores a 50cm.

Se ensayarán como mínimo 5 muretes. Si se ensayaran a los 7 días el valor de resistencia se deberá corregir con un factor de 1.1.

Respecto al procedimiento del ensayo, se seguirán las mismas especificaciones que en el caso de ensayos a compresión de prismas, pero aplicando la carga según la diagonal del murete, hasta llegar a la rotura.

✘ Las fórmulas estadísticas a utilizar para determinar la resistencia característica a corte son las mismas que para determinar la resistencia característica a compresión (2-8), (2-9), (2-10) y (2-11).

En la Figura 2-17 se muestra el ensato de determinación de la resistencia a corte.



Figura 2-17 – Murete para ensayar a fin de determinar la resistencia a corte.

En la Figura 2-18 se muestra la rotura del murete. La rotura puede ser más o menos escalonada, en función de las características resistentes relativas entre el mortero, el mampuesto y la adherencia que exista entre los mismos. Cuanto mejor sea la calidad del mampuesto más posible es obtener una rotura escalonada.



Figura 2-18 – Murete ya ensayado.

Se puede observar la similitud de la falla obtenida en el ensayo con la mostrada en la Figura 2-15, de ahí su aplicación.

2.3.3.2. Valores indicativos

Valores indicativos de resistencia a corte de la mampostería en Mpa.			
Tipo de mampuesto \ Tipo de Mortero	Resistencia elevada (E)	Resistencia intermedia (I)	Resistencia normal (N)
Ladrillo cerámico macizo Clase A	0,4	0,35	0,3
Ladrillo cerámico macizo Clase B	0,35	0,3	0,25
Ladrillo huecos portantes cerámico Clase A	0,35	0,3	0,25
Ladrillo huecos portantes cerámico Clase B	0,3	0,25	0,2
Bloqueso huecos portantes de hormigón Clase A	0,35	0,3	0,25
Bloqueso huecos portantes de hormigón Clase B	0,3	0,25	0,2

Tabla 2-8 – Valores indicativos de la resistencia de la Mampostería al corte.

2.3.3.3. Influencia de la compresión

Resulta simple imaginar que el efecto de una carga horizontal en la planta baja de un edificio, no tendrá el mismo efecto que si dicha carga se aplica en el último piso en lo relativo al efecto de corte. Los muros ubicados en el último piso reciben solamente la carga de la última losa (y eventualmente alguna otra sobrecarga), mientras que los muros de planta baja están soportando el peso de todo el edificio, el cual colabora al resistir las fuerzas horizontales. Esto se entiende claramente al comparar la fuerza P necesaria para producir el movimiento del cuerpo en la Figura 2-19 comparado con la necesaria para hacerlo en el cuerpo de la Figura 2-20.



Figura 2-19

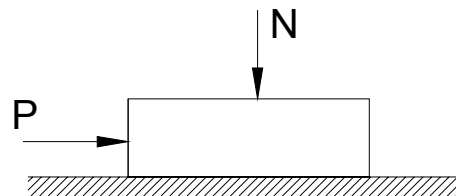


Figura 2-20

A partir de los resultados obtenidos experimentalmente, en bibliografía [2] Sinha propone la existencia de una relación lineal entre la tensión rasante máxima y la tensión de precompresión dada por le Ec. (2-32).

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \sigma_c \quad (2-32)$$

Donde:

τ_0 : resistencia al corte de la mampostería con precompresión nula.

μ : coeficiente de rozamiento interno.

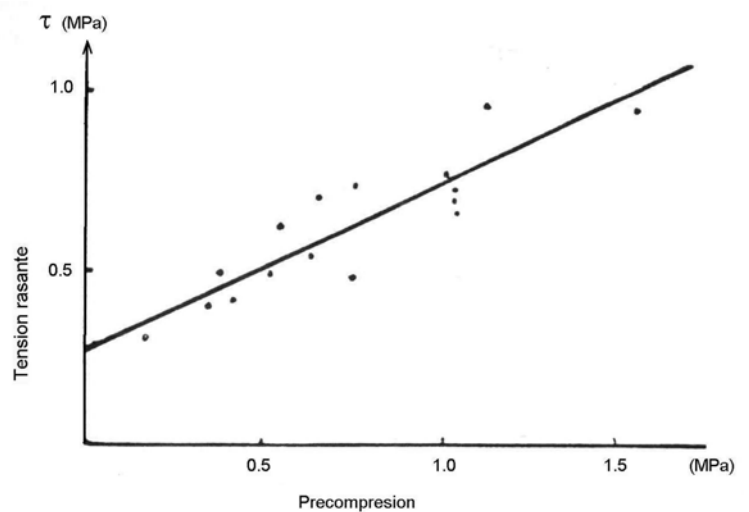


Figura 2-21 – Relación entre τ y σ según [2].

En la Figura 2-22 se muestra el esquema del ensayo utilizado para determinar el coeficiente de rozamiento en la junta mortero-mampuesto (μ).

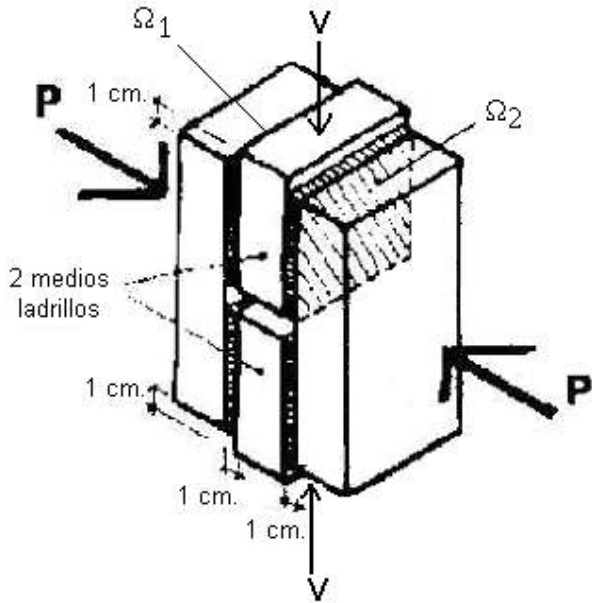


Figura 2-22 – Ensayo de Tripletas.



Figura 2-23 – Ensayo de Tripletas.

De la Figura 2-22 se desprende que:

$$\tau = \frac{V}{\Omega_1 + \Omega_2} \quad (2-33)$$

Donde:

- V : carga de corte
- Ω_1 y Ω_2 : área de rotura
- P : carga de precompresión

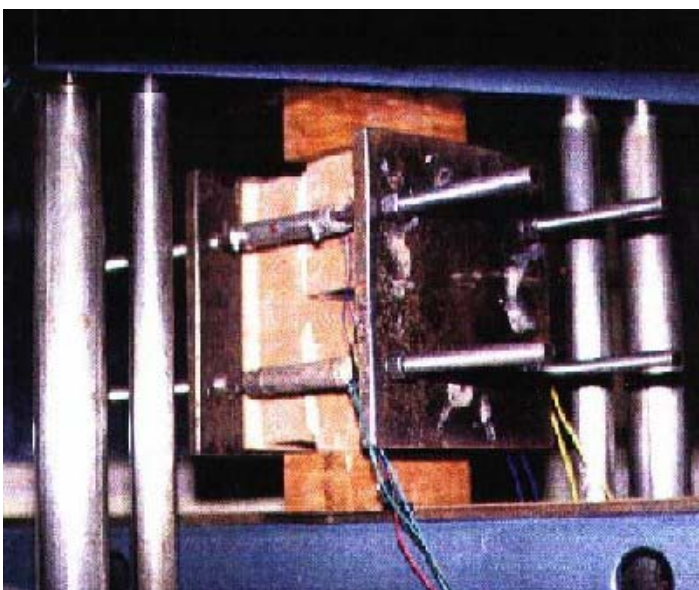


Figura 2-24 - Dispositivo utilizado para aplicar precompresión

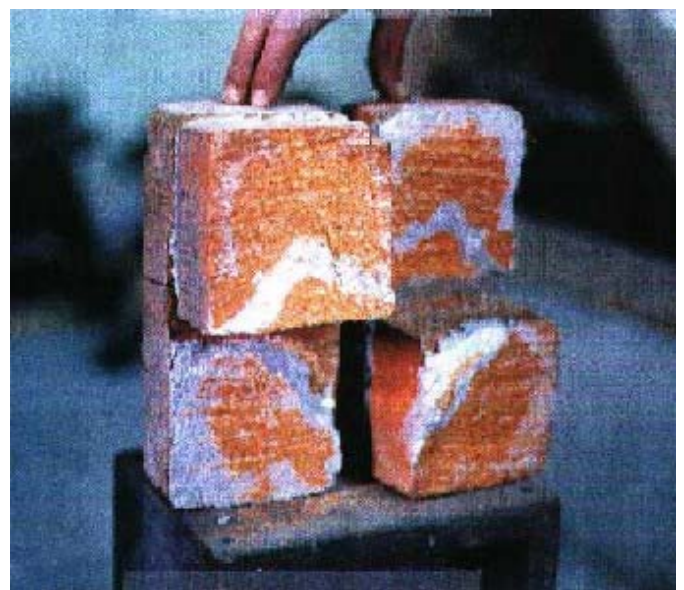


Figura 2-25 – Forma de falla

Resultados obtenidos en el I.E.T. para diferentes tipos de morteros

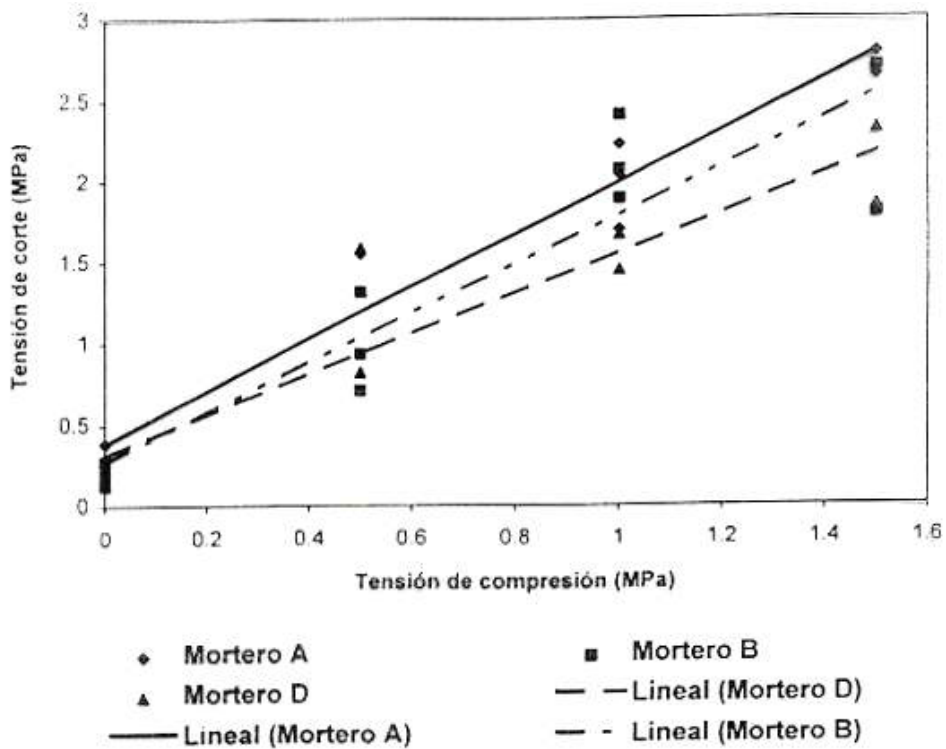


Figura 2-26 – Relación: corte – compresión

La Figura 2-27 muestra la incidencia del tipo de mortero en la tensión media de corte:

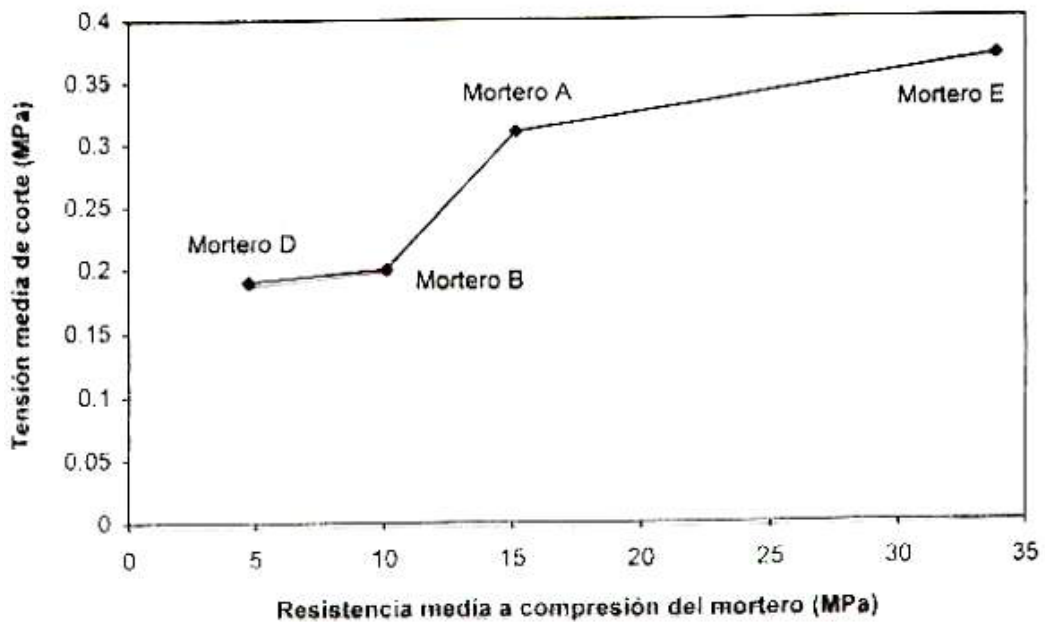


Figura 2-27 – Relación: corte – resistencia del mortero

En las siguientes fotografías se muestran algunos ensayos realizados en el IET:



Figura 2-28

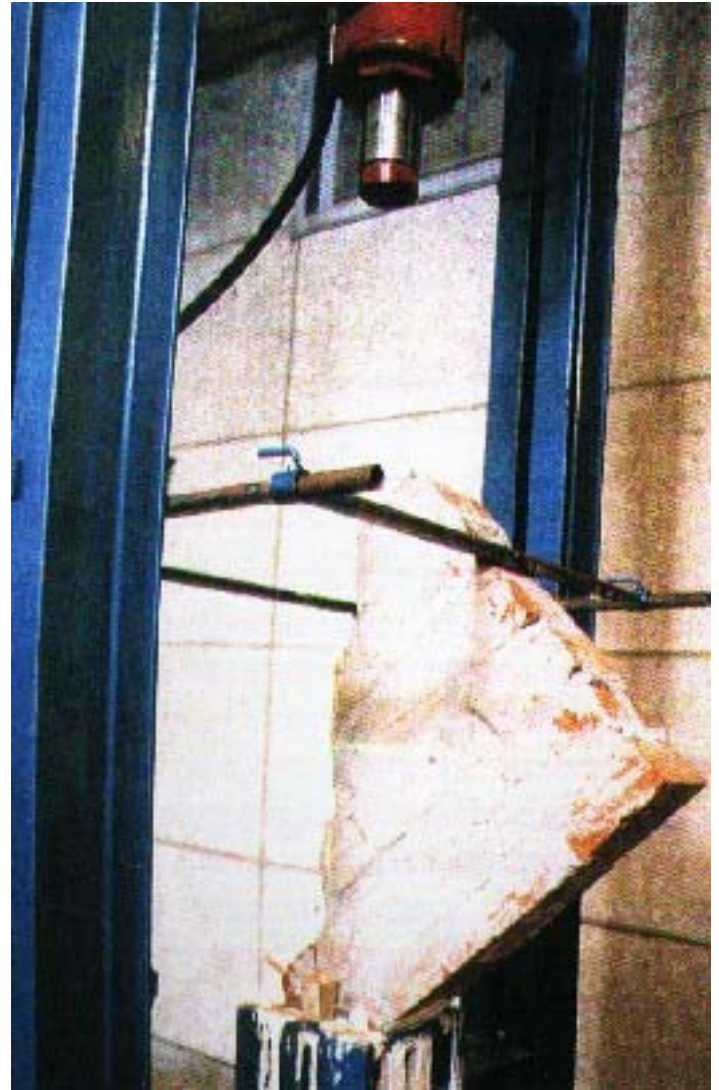


Figura 2-29

A modo de ejemplo, en la Tabla 2-9 se resumen algunos resultados,

Ensayos de determinación de resistencia al corte							
Murete	Carga de rotura P (Kg)	Mortero	Dimensiones del murete (cm)			Tensión rasante nominal de rotura τ (Mpa)	Observaciones
			a	b	c		
1	85,0	A	51,5	54,0	11,4	0,999	Falla local
2	90,0	A	51,5	54,2	11,3	1,065	
3	100,3	A	51,5	54,4	11,3	1,185	Falla local
4	137,4	B	51,5	52,5	11,3	1,653	
5	128,6	B	51,5	53,6	11,4	1,518	
6	125,8	B	51,5	54,5	11,5	1,459	
7	139,2	E	51,3	54,5	11,5	1,618	
8	136,4	E	51,0	54,0	11,3	1,626	
9	182,6	E	51,5	53,8	11,3	2,171	

Tabla 2-9 – Ensayos de corte

2.3.3.4. Variantes del ensayo indicadas en bibliografía

En bibliografía [4], Héctor Gallegos indica que en algunos casos, el ensayo de corte realizado sobre unidades huecas, produce una rotura frágil, al producirse la primera grieta y que dicha falla “puede ser de características explosivas”. Propone entonces una variante del ensayo con compresión normal a las juntas (ver Figura 2-30). Algunos resultados obtenidos por dicho autor se muestran en la Figura 2-31.

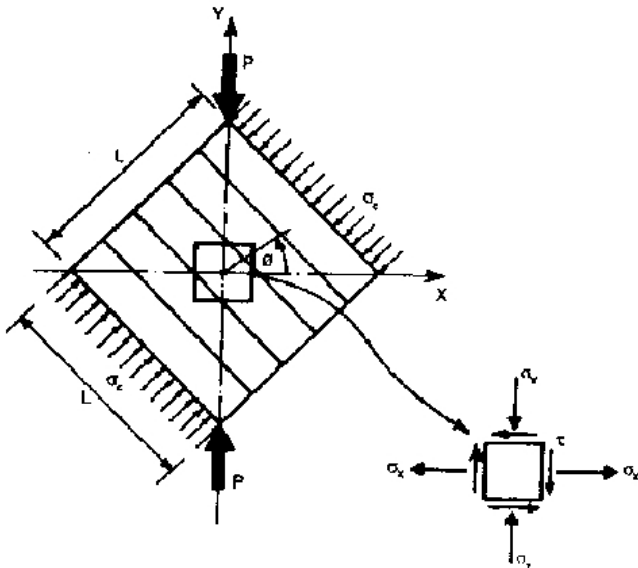


Figura 2-30 – Variante del ensayo de corte, con compresión normal a la junta indicada en [4].

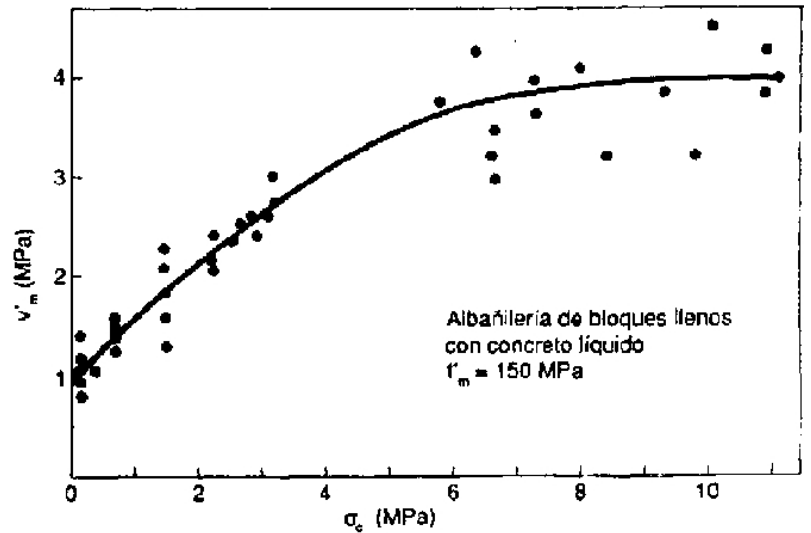


Figura 2-31 – Resultados obtenidos para diferentes valores de compresión.

En el I.E.T. se han realizado ensayos de corte con ticholos según el ensayo mostrado en la Figura 2-16 no habiéndose encontrado evidencia de “roturas explosivas”.

El autor también presenta un ensayo para determinar la resistencia a tracción, basándose en el conocido ensayo de compresión diametral para probetas cilíndricas.

En dicho ensayo se carga diametralmente una probeta cilíndrica, generándose tensiones de tracción aproximadamente constantes en el plano que contiene a las cargas aplicadas.

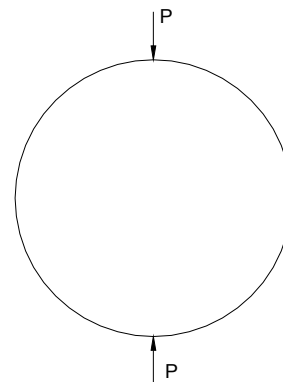


Figura 2-32 – Ensayo de compresión diametral (tracción indirecta)

Para esto construyó probetas octogonales y las cargó diametralmente, variando la dirección del plano de carga respecto a la junta.

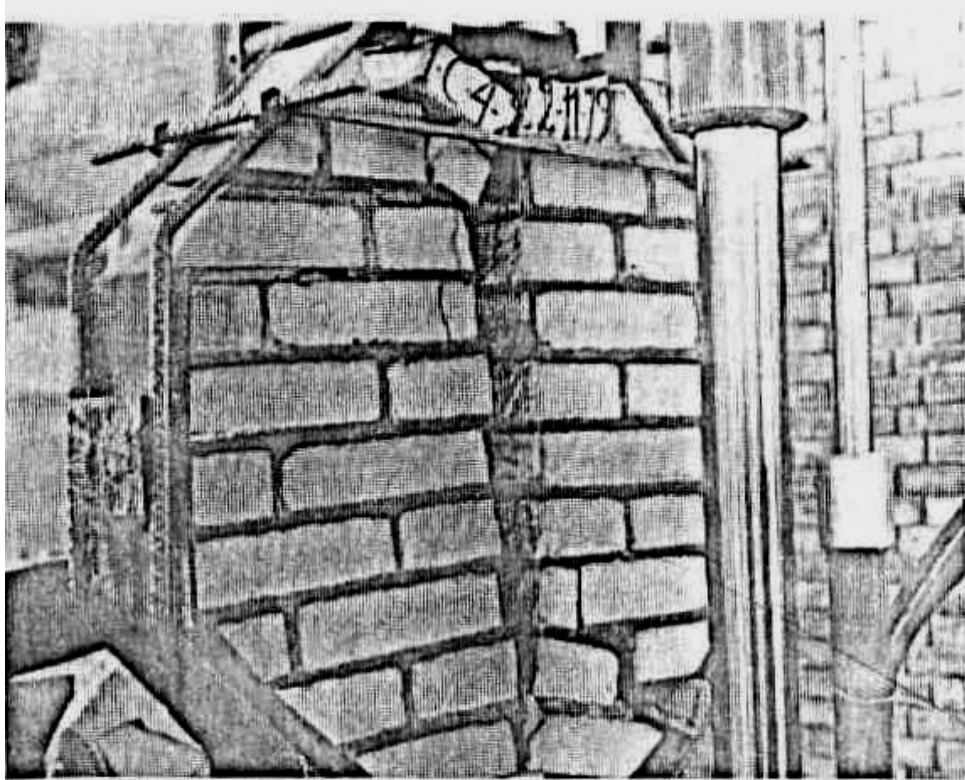


Figura 2-33 – Ensayo de compresión diametral – 0°.

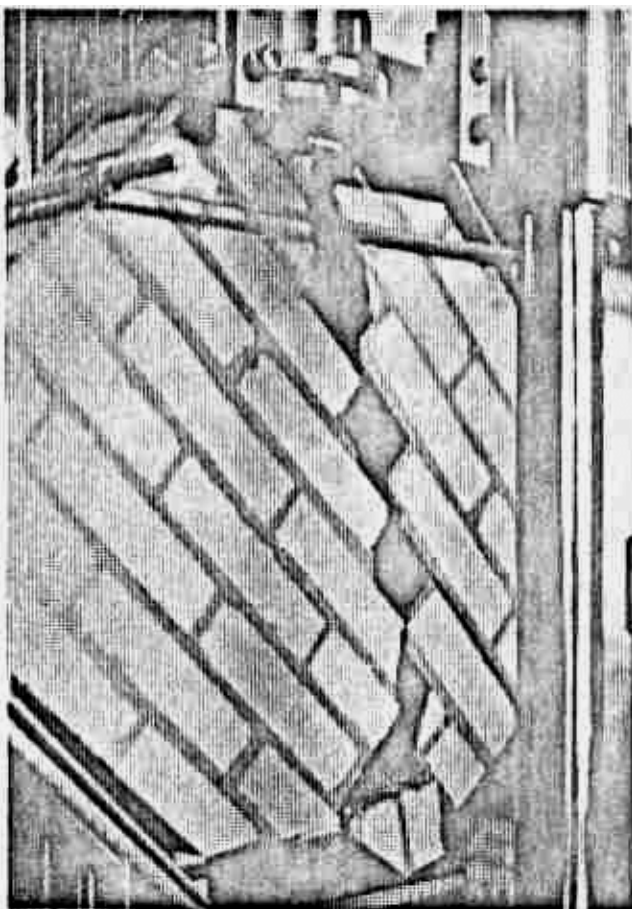


Figura 2-34 – Ensayo de compresión diametral – 45°

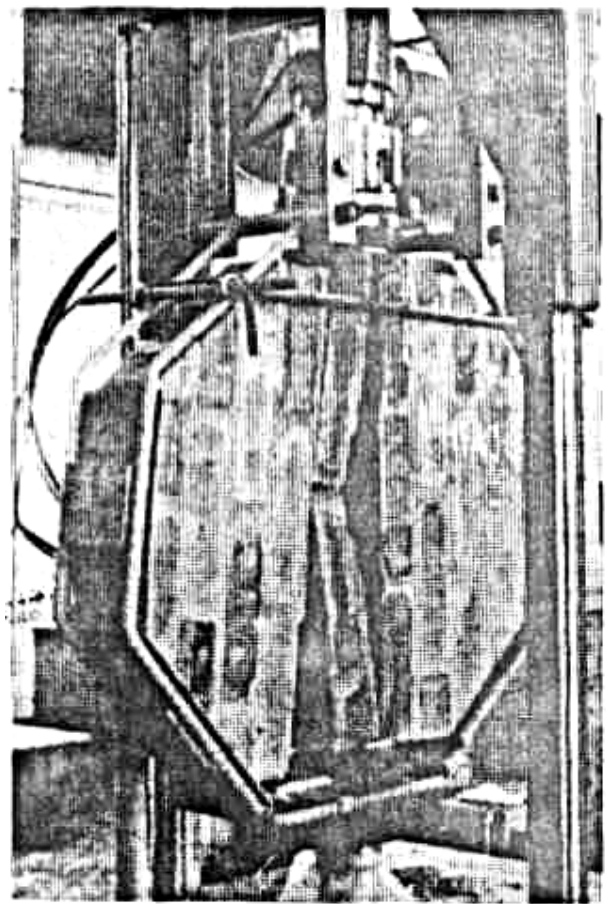


Figura 2-35 – Ensayo de compresión diametral – 90°

Para el caso de carga perpendicular a la junta mostrado en la Figura 2-33 (0°) se obtuvo la máxima resistencia, pues en ese caso debían romperse los mampuestos para alcanzar la rotura. Con carga a 45° de la junta (Figura 2-34), la falla fue semejante al ensayo de corte indicado en la Figura 2-16. En estos casos el autor encontró que los morteros con cal brindaban una resistencia 75% mayor que los morteros sin cal. Por último, el caso de cargar paralelamente a la junta (Figura 2-35) se obtuvieron las menores resistencias ya que la tracción generada era perpendicular a la junta, por lo que solamente había que vencer la adherencia entre mortero-mampuesto. Estos resultados se muestran gráficamente en la Figura 2-36.

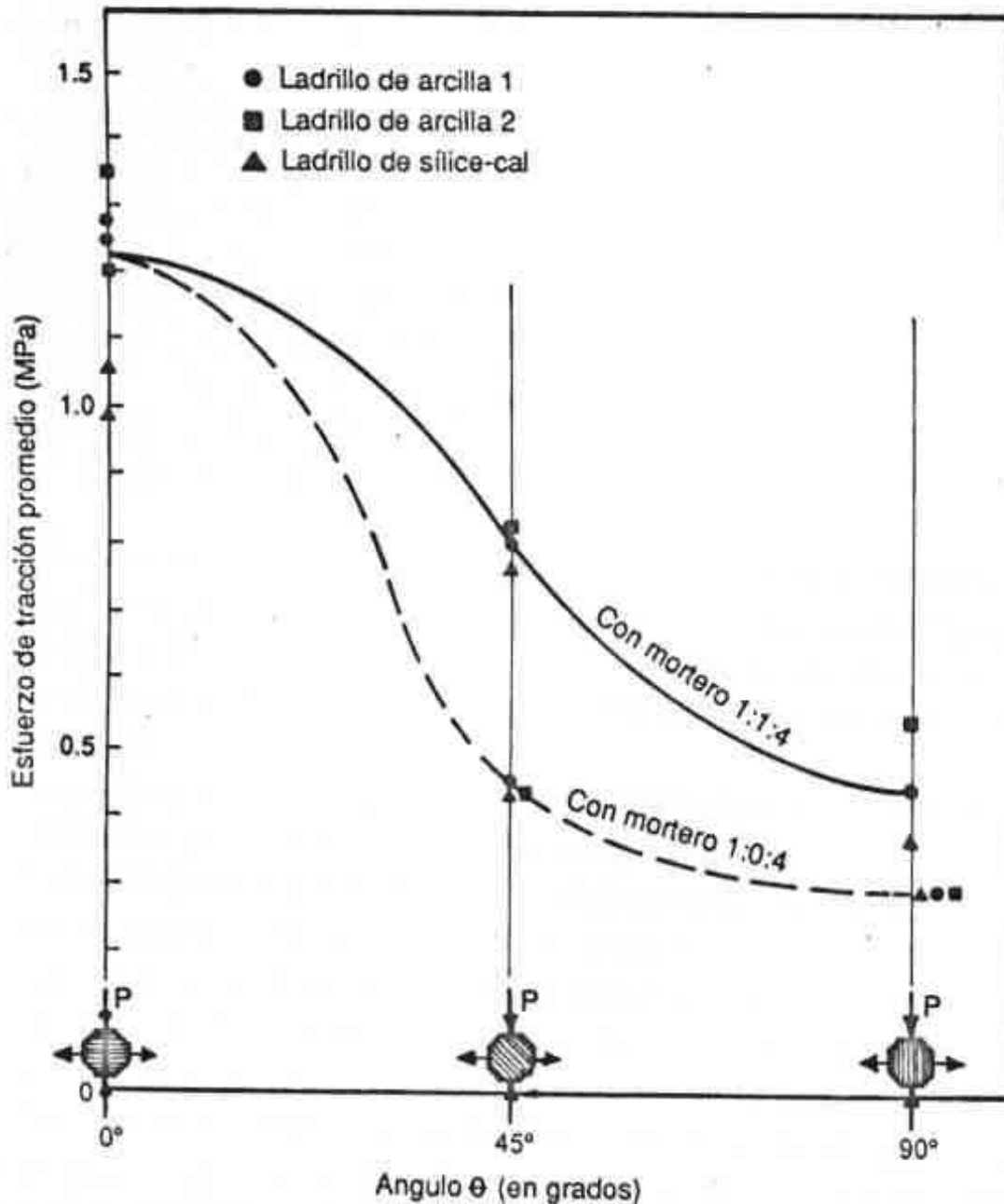


Figura 2-36 – Resultados del ensayo de compresión diametral (tracción indirecta)

2.3.4. Resistencia a tracción por flexión de la mampostería

Este parámetro es esencial para el dimensionado de muros sometidos a solicitaciones predominantes de flexión. Un claro ejemplo de esto son los muros no portantes (paneles) en los edificios de hormigón armado, sometidos a la acción del viento.

En estos muros la falla se puede producir en forma perpendicular a la junta (Figura 2-37) o paralela a la misma (Figura 2-38).

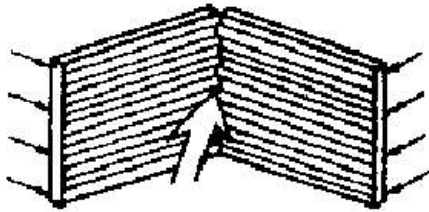


Figura 2-37 – Falla perpendicular a la junta.

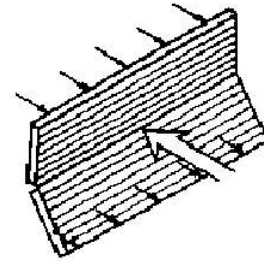


Figura 2-38 – Falla paralela a la junta.

Esto hace que se deba hacer un estudio en dos direcciones. A la resistencia a tracción por flexión obtenida cuando la falla es perpendicular a la junta (Figura 2-37) se la denomina f_x y cuando la falla es paralela a la junta (Figura 2-38) se la denomina f_y .

Según la bibliografía [1], la resistencia a tracción por flexión para cada caso se puede determinar según 2 procedimientos:

- ✘ A) Ensayos de flexión de probetas.
- ✘ B) Valores indicativos.

2.3.4.1. Ensayos de flexión de probetas

Para estos ensayos, el esquema de cálculo es el tradicional de una viga simplemente apoyada con cargas simétricas respecto al eje, de forma de generar en el tramo ubicado entre líneas de aplicación de cargas un momento flector constante de valor se muestra en la ecuación (2-34).

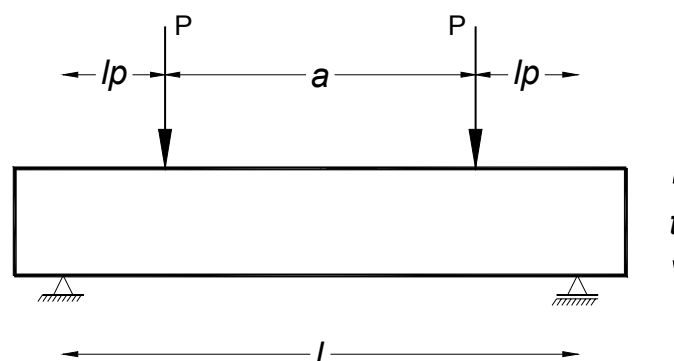


Figura 2-39 – Esquema de cálculo para el ensayo de determinación de la resistencia a tracción por flexión.

$$M_1 = P \cdot l_p \quad (2-34)$$

Dado que las probetas se colocan horizontales, el peso propio de la probeta genera un momento flector colineal con el aplicado por las cargas externas M_2 . Este momento flector se calculará en la sección de rotura. El momento de cálculo será $M = M_1 + M_2$. Con dicho momento se calcula la máxima tensión normal de tracción, la cual se muestra en la ecuación (2-35).

$$\sigma_{Máx} = \frac{M}{W} \rightarrow \sigma_{Máx} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot t^2} \quad (2-35)$$

Se trabaja con $l_p = \frac{1}{5} \cdot l$ tal como lo recomienda la Norma BS 5628 [5].

2.3.4.1.1 Puesta en práctica del ensayo

Las probetas se ensayan en posición horizontal, simplemente apoyadas, con cargas lineales. Para asegurar que la carga se distribuye uniformemente y que las reacciones de apoyo también sean uniformes a lo largo de toda la línea de apoyo de la probeta, se colocan láminas de madera compensada de 3mm de espesor, de manera de evitar las perturbaciones por las irregularidades de las probetas.

El ensayo se realiza introduciendo carga de manera que ésta aumente en forma uniforme, con una velocidad de carga de 2.5KN por minuto (250 Kg/min).

Las probetas se ensayan luego de los 28 días de haber sido construidas.

Para hallar la resistencia característica a tracción por flexión f_{kx} se aplica la carga de forma de generar un momento flector cuyo vector sea perpendicular a la junta, como muestra la Figura 2-40.

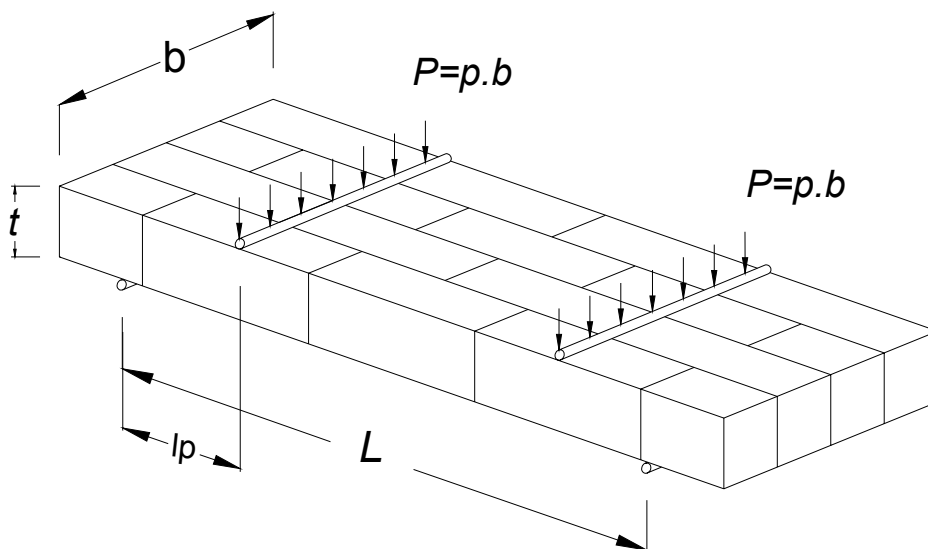


Figura 2-40 – Esquema de carga para determinar la resistencia a tracción según la dirección perpendicular a la junta.

Para el caso de la resistencia característica a tracción por flexión f_{ky} se aplica la carga, de forma de generar un momento flector cuyo vector sea paralelo a la junta, como muestra la Figura 2-41.

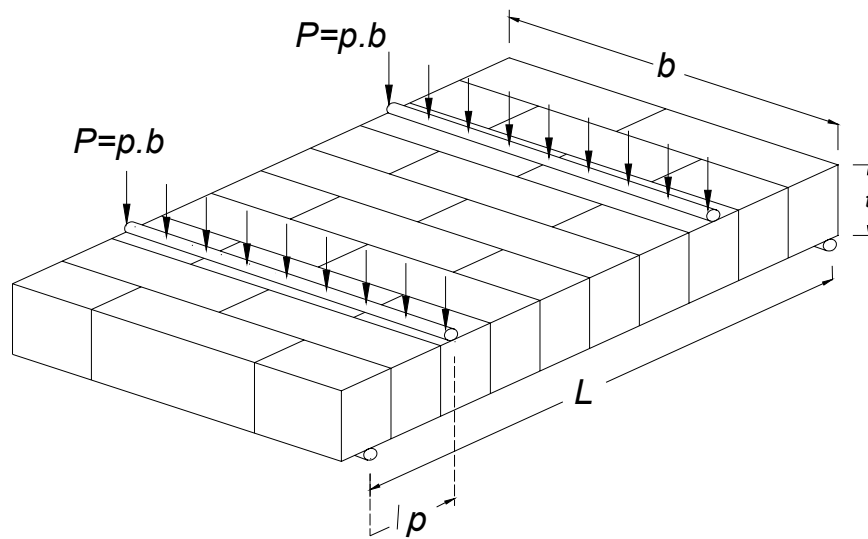


Figura 2-41 – Esquema de carga para determinar la resistencia a tracción según la dirección paralela a la junta.

2.3.4.1.2 Descripción de las probetas.

Las probetas tienen dimensiones diferentes según la dirección del vector momento flector aplicado sea paralela o perpendicular a la junta.

Para el caso de momento flector perpendicular a la junta, como muestra la Figura 2-40, las probetas están compuestas por 16 mampuestos dispuestos de la siguiente forma: 4 mampuestos en el largo por 4 en el ancho y uno en el espesor, con juntas de mortero de entre 0.9 y 1.3 cm. Los mampuestos se colocan en soga.

Para el caso de momento flector paralelo a la junta, como muestra la Figura 2-41, las probetas están compuestas por 20 mampuestos dispuestos de la siguiente forma: 10 mampuestos en el largo por 2 en el ancho y uno en el espesor. Al igual que en el caso anterior, las juntas son de mortero de entre 0.9 y 1.3 cm y los mampuestos se colocan en soga.

2.3.4.1.3 Descripción del dispositivo de ensayo

Una característica importante del dispositivo utilizado para realizar estos ensayos, es que se adapta a los dos tipos de probetas a ensayar. Para ello tiene una base sobre la cual se apoyan dos perfiles móviles, que se colocan a una distancia regulable dependiendo del ensayo que se va a realizar. Sobre estos perfiles se colocan dos barras cilíndricas de diámetro $\phi = 31.8\text{mm}$, una fija al perfil (apoyo fijo) y la otra apoyada sobre el mismo de forma que pueda deslizarse.

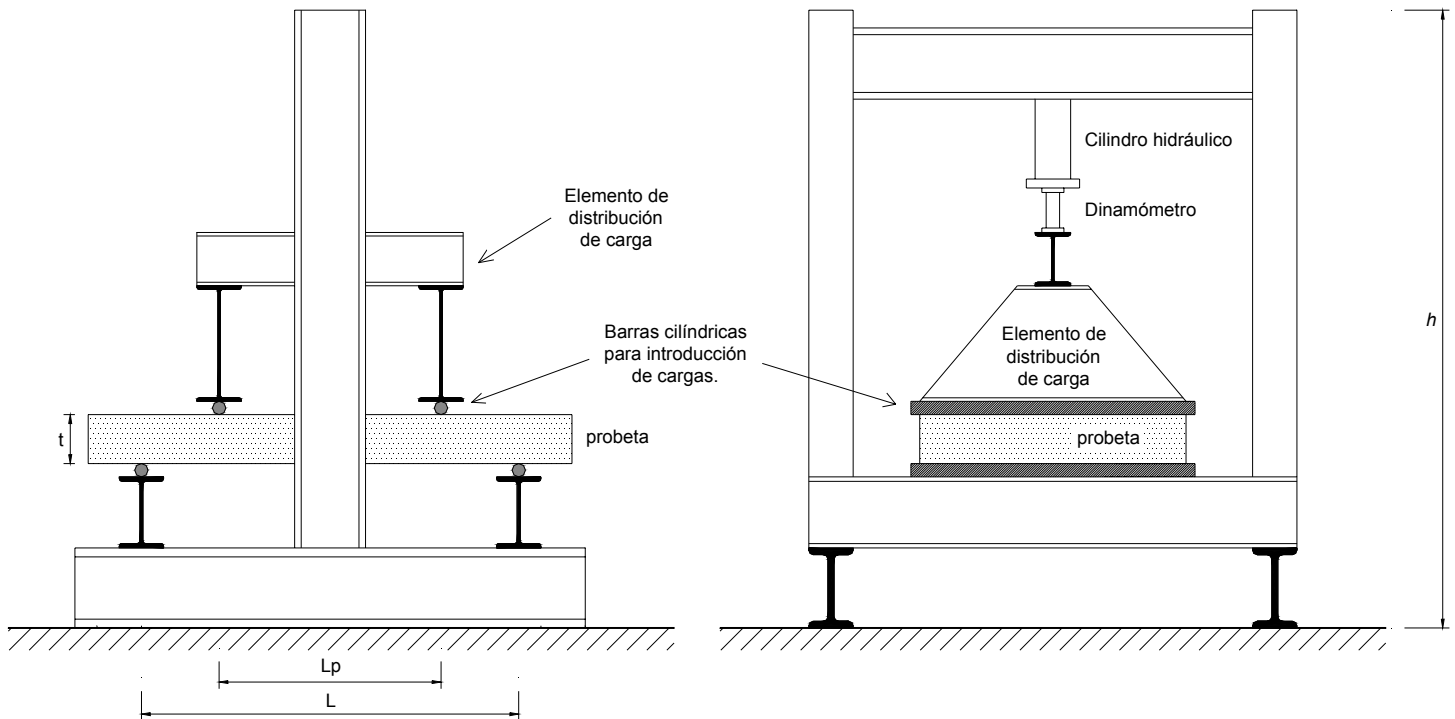


Figura 2-42 – Esquema del dispositivo de ensayo.

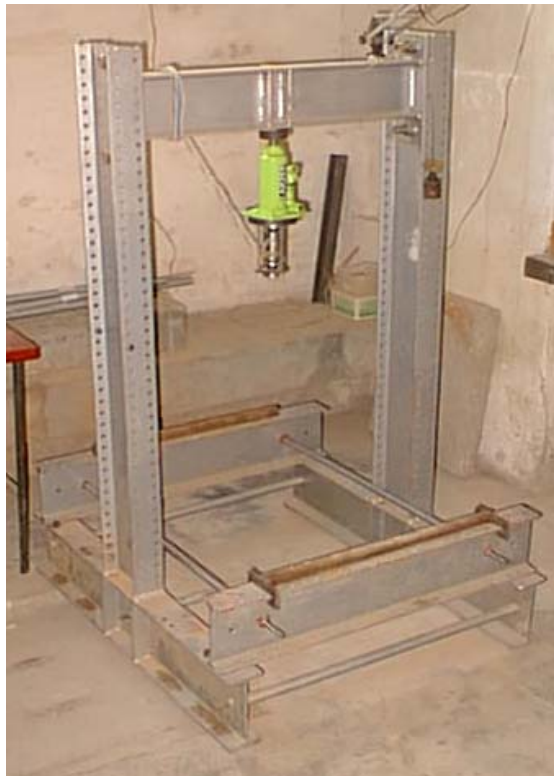


Figura 2-43 – Foto del dispositivo de ensayo.

Como puede ser observado en la Figura 2-43, la carga es suministrada por un cilindro hidráulico manual, y se aplica uniformemente gracias a la simetría y rigidez de los elementos en las dos líneas de carga sobre la probeta, a través de un elemento de distribución de cargas (ver Figura 2-44), que puede ser adaptado a cualquiera de los dos ensayos.



Figura 2-44 – Elemento de distribución de carga

Entre el cilindro hidráulico y el elemento de distribución de carga se coloca un dinamómetro para poder medir la carga total aplicada: $F = 2 \cdot P$. Este dinamómetro está centrado en el dispositivo de carga de manera de asegurar que en ambas líneas la carga sea la misma. Con la finalidad de asegurar una introducción de carga exclusivamente vertical se interponen barras cilíndricas entre el elemento de distribución de carga y la probeta oficiando como apoyos deslizantes.

2.3.4.1.4 Medidas de deformación

Además de las resistencias características a tracción por flexión, a partir del ensayo se determinan los módulos de elasticidad a la flexión en cada una de las direcciones consideradas con momento flector perpendicular y paralelo a la junta, E_x y E_y respectivamente. Para ello se adopta como valor de la flecha en el punto medio de las probetas, el promedio de las lecturas de dos flexímetros colocados en los extremos de la línea media de la probeta.

Según el esquema teórico del ensayo la flecha máxima debida a las cargas aplicadas se calcula según la ecuación (2-36) (véase Figura 2-40 y Figura 2-41).

$$\delta_{Máx} = \frac{P \cdot l_p}{24 \cdot E \cdot I} (3 \cdot l^2 - 4 \cdot l_p^2) \quad (2-36)$$

Considerando que $l_p = \frac{1}{5} \cdot l$, se obtiene:

$$\delta_{Máx} = \frac{71 \cdot P \cdot l^3}{3000 \cdot E \cdot I} \quad (2-37)$$

Si se considera la función $P = P(\delta_{Máx})$ suponiendo un comportamiento perfectamente elástico se obtendría una recta de pendiente $m = \frac{3000 \cdot E \cdot I}{71 \cdot l^3}$. Al realizar los ensayos se obtiene la pendiente m de la curva antes mencionada, y entonces el módulo de elasticidad se calcula según la ecuación (2-38):

$$E = \frac{71 \cdot m \cdot l^3}{3000 \cdot I} \quad (2-38)$$

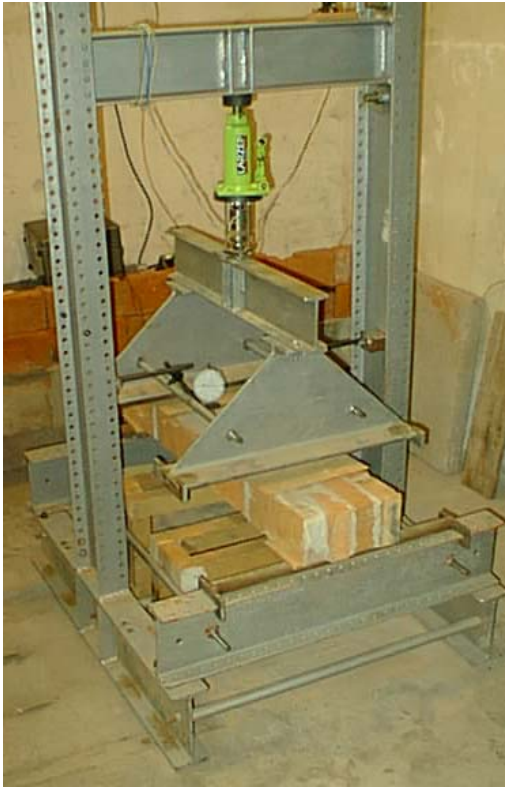


Figura 2-45 – Dispositivo montado para f_x .

En la Figura 2-45 se muestra el dispositivo montado para el ensayo de determinación de f_x .

En la Figura 2-46 se muestra un detalle de los comparadores utilizados para la medida de la flecha en la sección intermedia de la probeta.

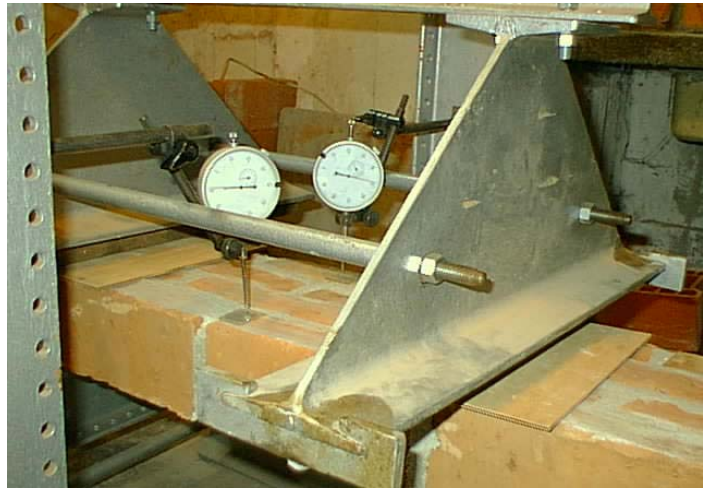


Figura 2-46 – Comparadores para la medida de deformaciones

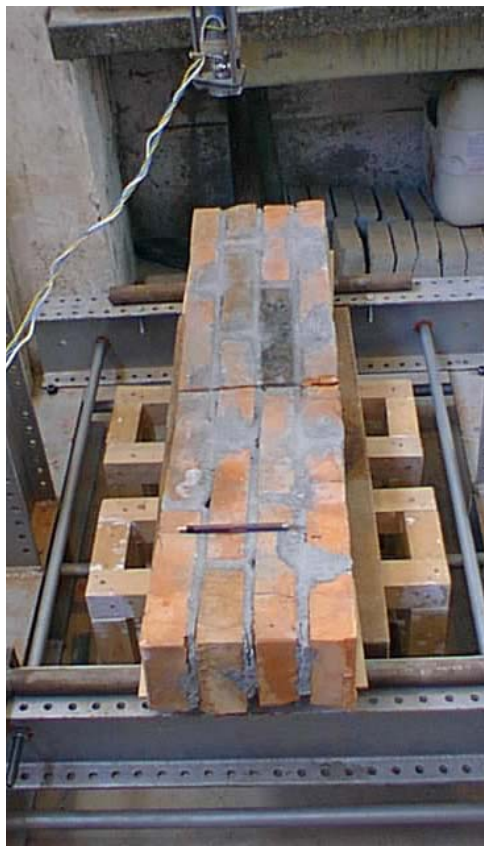


Figura 2-47

En la Figura 2-47 se muestra una probeta ensayada para la determinación de la resistencia a tracción por flexión con vector momento flector perpendicular a la junta.

En la Figura 2-48 se aprecia una probeta utilizada en el ensayo de determinación de f_{ky} .



Figura 2-48

2.3.4.1.5 Cálculo de f_{kx} y f_{ky}

Tanto en el caso de determinación de f_{kx} como de f_{ky} , se deberán ensayar al menos 5 probetas. En caso de que el número de ensayos utilizados sea menor que 10, los valores de f_x y f_y obtenidos a partir de ensayos serán divididos por el factor de corrección indicado en la Tabla 2-10.

Factor de corrección para $n < 10$	
Nº de ensayos	Factor de corrección
5	2,34
6	2,18
7	2,08
8	2,01
9	1,96
10	1,92

Tabla 2-10 – Factor de corrección para flexión.

El valor de f_{kx} y f_{ky} se calculará a partir de los n ensayos utilizando las ecuaciones (2-8), (2-9), (2-10) y (2-11).

Los valores obtenidos a partir de ensayos no podrán ser superiores a 1.6 veces los valores indicativos B) para ladrillos macizos o 1.3 veces para ladrillos o bloques huecos portantes cerámicos o de hormigón.

2.3.4.2. Valores indicativos

Valores indicativos de resistencia característica a tracción por flexión f_{kx} en Mpa.			
Tipo de Mortero Tipo de mampuesto	Resistencia elevada (E)	Resistencia intermedia (I)	Resistencia normal (N)
Ladrillo cerámico macizo Clase A	1,10	1,00	0,90
Ladrillo cerámico macizo Clase B	0,90	0,80	0,70
Ladrillo huecos portantes cerámico Clase A	0,60	0,55	0,50
Ladrillo huecos portantes cerámico Clase B	0,45	0,40	0,35
Bloques huecos portantes de hormigón Clase A	0,60	0,55	0,50
Bloques huecos portantes de hormigón Clase B	0,45	0,40	0,35

Tabla 2-11 – Valores indicativos de f_{kx} .

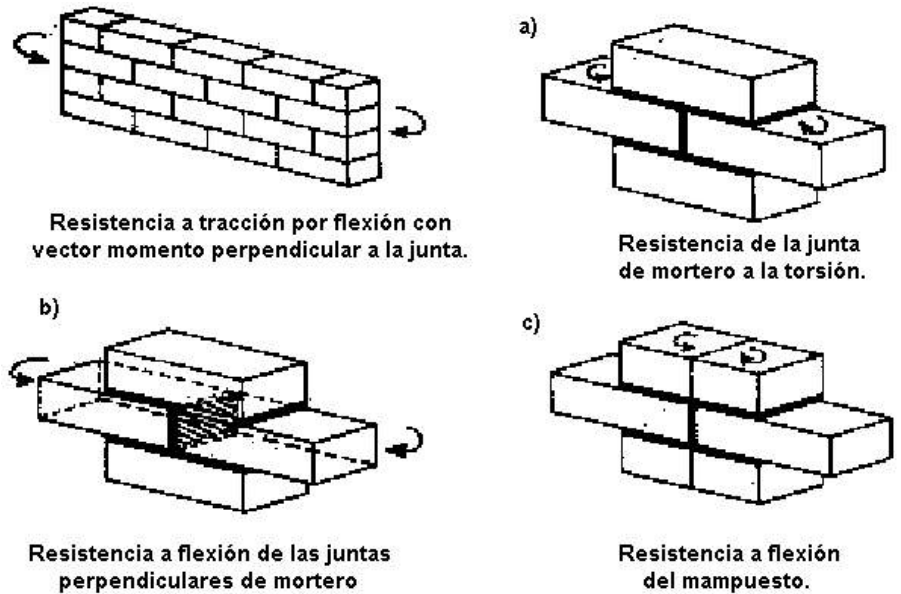
Valores indicativos de resistencia característica a tracción por flexión f_{ky} en Mpa.			
Tipo de Mortero Tipo de mampuesto	Resistencia elevada (E)	Resistencia intermedia (I)	Resistencia normal (N)
Ladrillo cerámico macizo Clase A	0,40	0,35	0,30
Ladrillo cerámico macizo Clase B	0,35	0,30	0,25
Ladrillo huecos portantes cerámico Clase A	0,25	0,23	0,20
Ladrillo huecos portantes cerámico Clase B	0,20	0,18	0,15
Bloques huecos portantes de hormigón Clase A	0,20	0,23	0,20
Bloques huecos portantes de hormigón Clase B	0,20	0,18	0,15

Tabla 2-12 – Valores indicativos de f_{ky} .

2.3.4.3. Características del comportamiento de la mampostería a flexión

2.3.4.3.1 Factores que intervienen en el valor de f_x

En la Figura 2-49 se aprecia una probeta sometida a un momento flector con vector perpendicular a la junta de mortero y se muestran las componentes que colaboran a resistir la aplicación de dichas soliciaciones.



En a) se muestra una primer componente que es la resistencia existente en la junta, que evita que el un mampuesto deslice respecto a otro, aunque este posible deslizamiento antes mencionado es evitado principalmente por la resistencia generada por las tensiones normales indicadas en b).

Figura 2-49 – Factores que generan f_x

No existiendo posibilidad de que haya deslizamiento, la falla deberá producirse a través de al menos dos mampuestos, por lo que el último factor que interviene en el valor de f_x es la propia resistencia a tracción por flexión del mampuesto indicada en c).

2.3.4.3.2 Influencia del aspecto del mampuesto

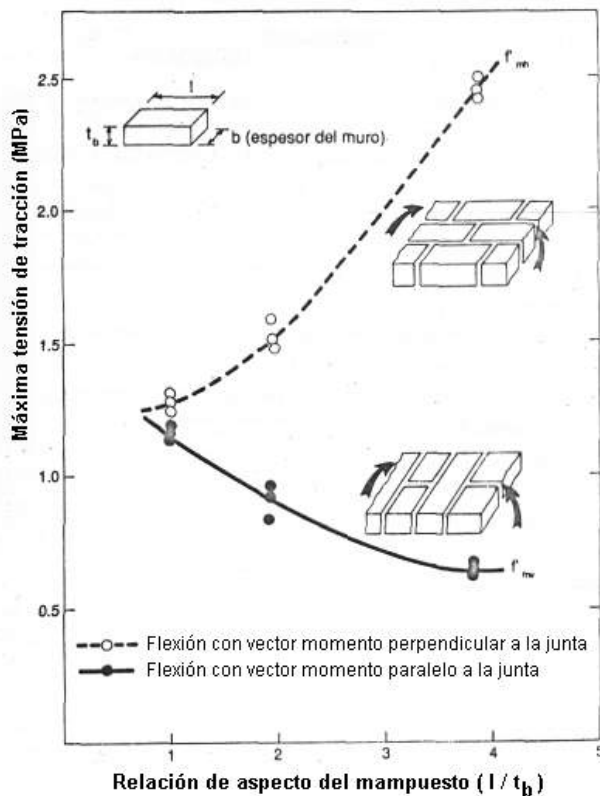


Figura 2-50 – Influencia de las dimensiones

En la Figura 2-50, extraída de bibliografía [4], se muestra la influencia del aspecto del mampuesto en la resistencia a tracción por flexión tanto con vector momento perpendicular a la junta como paralelo a la misma. Se entiende por aspecto a la razón entre el largo y el espesor del mampuesto: $\frac{l}{t_b}$.

Es importante observar que en el caso de f_x este valor aumenta al aumentar la relación largo – espesor, mientras que ocurre lo opuesto (aunque con una incidencia menor) para el caso de f_y .

2.3.4.3.3 *Relación ortogonal*

La relación ortogonal se define según la ecuación (2-39):

$$\mu = \frac{f_{ky}}{f_{kx}} \quad (2-39)$$

La importancia de este parámetro se verá más adelante al estudiar el diseño de piezas sometidas a flexión.