

EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DEL PATRIMONIO CONSTRUIDO: TÉCNICAS BASADAS EN ASPECTOS TENSIONALES

Luis Villegas¹ (luis.villegas@unican.es); Ignacio Lombillo² (Ignacio.lombillo@unican.es);
Elena Agudo³ (elena.agudo@unican.es); GTED-UC⁴ (gted@unican.es).

¹ Catedrático de Universidad. Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.

² Ingeniero de Caminos, C. y P. Doctorando UC.

³ Ingeniero de Caminos, C. y P.

⁴ Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, C. y P. de Santander.

Resumen

El propósito de la comunicación es aportar una visión actualizada de algunas de las metodologías no destructivas basadas en aspectos tensionales aplicadas, de forma general, a la rehabilitación estructural del patrimonio construido.

A este respecto se va a aportar una descripción de las últimas tecnologías y las diferentes tendencias existentes en el panorama internacional, de las cuáles algunas apenas tienen desarrollo en España. Las técnicas a tratar serán las relacionadas con gatos planos, hole-drilling aplicado a la rehabilitación (método Donostia), técnicas dilatométricas y técnicas aplicadas para la caracterización mecánica de morteros (resistencia al corte de la junta, resistencia a la penetración, pull out test y drilling resistance).

1.- La técnica de gatos planos.

El ensayo de gatos planos (Flat Jacks en terminología anglosajona) es un método directo e in situ que requiere solamente la remoción de una porción de mortero de las juntas de una fábrica pétreo o de ladrillo, por ello que se considera un ensayo ligeramente destructivo al ser un daño temporal y fácilmente reparable después de realizar el ensayo.

Se emplea para la evaluación no destructiva de algunas propiedades mecánicas y de deformabilidad de los materiales que conforman la estructura de fábrica.

1.1.- Antecedentes

El ensayo de gato plano proviene del campo de la mecánica de las rocas. Fue inventado por el ingeniero francés Eugene Freyssinet en 1934 y a principios de los años 80 el investigador italiano Paolo Rossi, adaptó el método para poderlo emplear en fábricas de ladrillo y mampostería.

1.2.- Objetivos de ensayo

El objetivo de la técnica del gato plano consiste en obtener información estimativa y fiable sobre los siguientes parámetros:

- Estimación del estado tensional de compresión en una zona muy local de la estructura.
- Estimación de las características de deformabilidad (módulo de deformación y coeficiente de Poisson) de los materiales que la forman.

- Estimación de la resistencia a compresión del material o los materiales que conforman el elemento estructural siempre y cuando dicho nivel tensional no supere la capacidad operativa de los gatos planos movilizados.

El ensayo queda dividido en dos fases, en la primera, se utiliza un gato plano para estimar el estado tensional de compresión en el punto elegido de la estructura; en la segunda fase, se emplean dos gatos planos con el fin de estimar las características de deformabilidad del material existente entre los dos gatos planos citados y, si la capacidad de éstos lo permite, su resistencia mecánica a compresión.

Existen varias normativas vigentes para la evaluación de fábricas mediante la técnica de gatos planos. En Estados Unidos fueron desarrolladas por el ASTM (American Society for Testing and Materials), siendo aprobadas en 1991, actualmente existe una actualización de las mismas (C1196-04: “*Standard test method for in situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flatjack measurements*”; C1197-04: “*Standard test method for in situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method*”). En Europa, se emplea la normativa RILEM aprobada en 1990 (RILEM LUM.D.2: “*In-situ stress tests on masonry based on the flat jack*”; RILEM LUM.D.3: “*In-situ strength/elasticity tests on masonry based on the flat-jack*”).

Un gato plano, en general, consiste en dos planchas de acero inoxidable soldadas a lo largo de las esquinas con uno o dos puertos de entrada y salida, que conectados a un circuito hidráulico con bomba son capaces de suscitarle una presión interna.

Se puede fabricar con diferentes formas y tamaños. Las dimensiones actuales están determinadas por su función, por la técnica empleada para preparar la hendidura y por las propiedades de la fábrica que va a ser ensayada. Una regla general para obtener resultados representativos del estado de tensión real del conjunto de la fábrica es emplear el mayor tamaño posible de gato plano. Un gato plano ideal ha de rellenar completamente la hendidura en la junta de mortero, si un gato plano no tiene la dimensión suficiente para rellenar la roza por completo, se emplean placas de relleno.

1.3.- Descripción del ensayo

El ensayo con gato plano se lleva a cabo en dos fases. En primer lugar se determina el estado tensional a compresión de la fábrica y en la segunda, las características de deformabilidad.

El ensayo se lleva a cabo teniendo en cuenta las siguientes indicaciones:

- Deberían realizarse varios ensayos (entre 3 y 5) en cada área de interés para obtener una muestra estadísticamente significativa
- Se deberán evitar los lugares de concentración de tensión, como cambios en la sección transversal y la periferia de huecos existentes

No es necesario y a menudo no es posible poner en carga todo el grosor de la pared, dado los grandes espesores que pueden alcanzar los muros de fábrica antiguos. No obstante, en todos los casos ha de ser ensayada al menos una de las hojas de la fábrica. Los resultados obtenidos se refieren solamente a la hoja que ha sido ensayada.

1.3.1.- Estimación in situ del estado tensional a compresión

Este ensayo está basado en el principio de liberación parcial de tensiones. Implica la eliminación local de tensiones, seguida de una restitución controlada del nivel de tensiones eliminado (*Figura 1*).

Inicialmente se colocan sobre la estructura unas bases verticales de medida, constituidas cada una por un par de puntos de base extensométrica (galgas), midiéndose la distancia d_i entre puntos por medio de un extensómetro. A continuación, se realiza un corte normal entre los dos puntos mencionados empleando una sierra con disco de diamante u otro útil de corte adecuado. Debido al reajuste tensional, la distancia d existente entre dichos puntos será menor que la inicial: $d < d_i$. Con posterioridad se coloca un gato plano en el corte realizado, conectándose a una bomba hidráulica manual para, seguidamente, incrementar gradualmente la presión en el gato hasta que se recupera la distancia original existente entre los puntos de base extensométrica $d = d_i$.

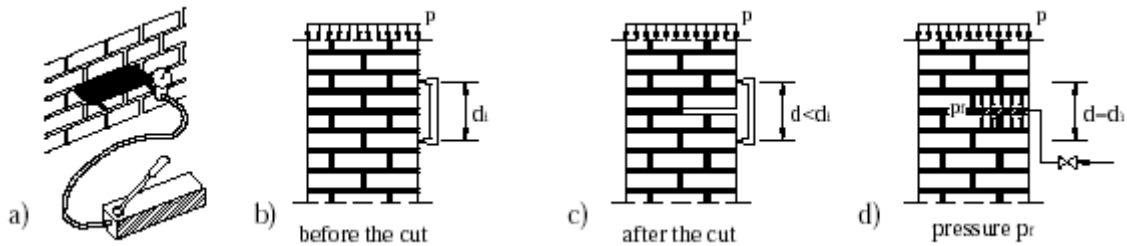


Figura 1: Fases del ensayo de la medida del estado de tensión. (Fuente: Gregorczyk y Lourenço)

En este punto la presión en el interior del gato plano (p_i) puede relacionarse con el estado tensional preexistente en la dirección normal al plano de corte (p). Dicho estado tensional en un punto de la estructura se calcula según la expresión:

$$\sigma = p \cdot K_m \cdot K_a \quad (1)$$

donde:

- p : Presión comunicada al gato plano por la bomba hidráulica, en Kp/cm^2 ,
- K_m : Constante adimensional propia de cada gato plano
- K_a : Relación entre el área del gato plano y el área media del corte realizado en la estructura ($K_a < 1$).

Los gatos planos están diseñados para suministrar una presión a la fábrica donde son ensayados, linealmente dependiente de la presión hidráulica interna. Dicha dependencia se explicita mediante la constante adimensional K_m determinada durante el proceso de calibración, función de las propiedades geométricas del gato plano y de su rigidez. Dicha constante siempre es menor que la unidad ($K_m < 1$) pues por la rigidez inherente al dispositivo parte de la presión interna es absorbida por el propio gato plano y por ende no es transmitida a la fábrica circundante.

En gatos planos nuevos, el coeficiente de calibración K_m viene proporcionado por el fabricante. Si bien debido al uso repetido, los gatos planos sufren un ablandamiento que exige sean recalibrados después de 4 ó 5 ensayos o con menor frecuencia si existen deformaciones excesivas. Los gatos planos deberían ser restituidos a su espesor después de cada ensayo para asegurar que el factor de calibración permanece inalterado.

En relación a la constante K_a , los puntos de contacto pueden obtenerse situando entre el gato plano y la superficie de las placas de relleno de la roza un calco (lámina de papel carbonoso) dispuesto entre dos láminas de papel ordinario. El papel es marcado en los lugares de contacto, contrariamente a lo que ocurre en los sitios de no contacto. De esta

forma puede obtenerse el factor K_a como la relación entre la zona de contacto y el área del gato plano por mera geometría.

1.3.2.- Determinación de las características de deformabilidad

En este ensayo se realizan dos cortes normales a la superficie de la estructura de estudio a una distancia entre ellos, en general, de 40-50 cm. Previamente se sitúan, simétricamente sobre la fábrica, unas bases verticales de medida formadas cada una de ellas por varios puntos de base extensométrica dentro de la zona comprendida entre los futuros cortes, a una distancia determinada mediante extensómetro.

A continuación se realizan dos cortes paralelos para insertar los gatos planos, en este ensayo se emplearán preferentemente gatos planos de tipo rectangular o semirectangular, ya que el gato plano semicircular no aplica estados de tensiones uniformes. Estos cortes producen el aislamiento de la parte del muro de fábrica existente entre las rozas constituyendo una “probeta” in situ que se considera liberada de cargas.

Una vez introducidos los gatos planos en los cortes (*Figura 2*), se comunican pequeños escalones de presión mediante bomba hidráulica manual, se tomará lectura de la distancia entre puntos de referencia d_i ($d_i < d$) para cada escalón de presión i .

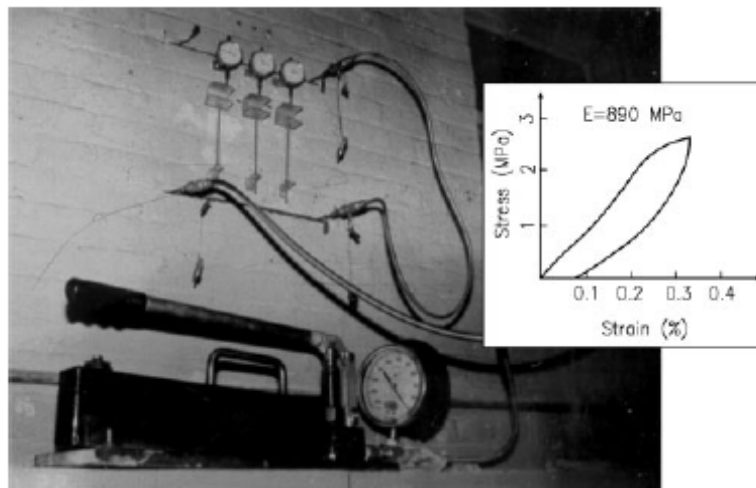


Figura 2: Ensayo de deformación, a la derecha gráfico presión aplicada-deformación donde se podrán observar los escalones de carga. (Fuente: Schuller)

Mediante incrementos graduales de la presión puede determinarse la relación entre tensión y deformación. También pueden simularse ciclos de carga-descarga.

Además de determinarse las características de deformabilidad, puede calcularse la resistencia a compresión de la fábrica incrementando la carga hasta que aparezca la primera fisura en la misma (siempre y cuando la capacidad mecánica de los gatos sea suficiente para conseguirlo).

El valor estimado de la tensión, en la zona delimitada por los gatos planos, para cada estado de presión i se calcula de la misma forma, ecuación (1) que en el ensayo de tensión in situ aludido con anterioridad. Para cada escalón de presión i corresponderá una deformación que se calcula mediante la expresión:

$$\varepsilon_i = (d - d_i) \cdot K_e \quad (2)$$

donde:

- ε_i : Deformación correspondiente al estado de presión del escalón i.
- d: Distancia inicial existente entre los puntos de referencia.
- d_i : Distancia entre puntos de referencia para el escalón de presión i.
- K_e : Constante de deformación del extensómetro.

Estimada la presión y deformación para cada uno de los escalones de presión i, se puede dibujar la gráfica tensión-deformación que permite estimar el módulo de elasticidad tangente en el origen para cada uno de los escalones de presión i, según la ecuación:

$$E_{ti} = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \quad (3)$$

donde:

- σ_i : Tensión correspondiente al estado de presión i (Kp/cm²).
- ε_i : Deformación correspondiente para el estado de presión i.

En el mismo ensayo se puede estimar el coeficiente de Poisson colocando horizontalmente puntos de base extensométrica a una distancia inicial D conocida y aplicando unos escalones de presión determinados.

2.- Técnica hole drilling

La técnica de ensayo fue puesta a punto por el Prof. Santiago Sánchez-Beitia y bautizada como método Donostia.

El método propuesto se enmarca en el campo de los Ensayos No Destructivos (NDT) o Casi No Destructivos (Minor Destructive Testing) para cuantificar las tensiones reales de servicio a la que están sometidas las fábricas pétreas y de ladrillo como elementos portantes en construcciones del Patrimonio Arquitectónico.

2.1.- Fundamentos

La técnica, adaptada de la descrita en la Norma ASTM E837-99: “*Standard test method for determining residual stresses by the hole-drilling strain-gage method*”, se basa en la medida de las deformaciones captadas por tres bandas extensométricas (galgas), convenientemente dispuestas, cuando se elimina por taladrado una parte del material.

La eliminación de material origina una relajación de las tensiones existentes en la zona analizada. Esta relajación es captada por las bandas extensométricas. El estado tensional al que estaba sometida la zona analizada antes del taladrado puede deducirse, a partir de estas deformaciones, mediante el adecuado proceso matemático.

La anterior Norma ASTM no es posible aplicarla directamente al análisis de los estados tensionales en fábricas pétreas y de ladrillo puesto que las dimensiones empleadas en este caso son al menos treinta veces mayores que las descritas en dicho documento. Consecuentemente, la técnica Hole Drilling propuesta no dispone de dispositivo estándar alguno para su ejecución. Además de este inconveniente experimental, la técnica requiere de la obtención de unas constantes que relacionan las deformaciones captadas en las galgas con los estados tensionales que las originan.

Las tensiones que se van a deducir no son Tensiones Residuales sino Estados Tensionales en Servicio. La Técnica Hole Drilling en Patrimonio Arquitectónico

consiste, por tanto, en adaptar experimentalmente un procedimiento normalizado para la cuantificación de las Tensiones Residuales (tensiones cercanas a la superficie del material). El método propuesto permite deducir las tensiones principales (σ_{max} y σ_{min}), y su dirección (β), a partir de tres deformaciones (ϵ_1 , ϵ_2 y ϵ_3) registradas en tres direcciones (*Figura 3*). En la figura siguiente se observa la disposición convencional de tres bandas extensométricas y la zona de taladrado de acuerdo con la Norma ASTM E837-95.

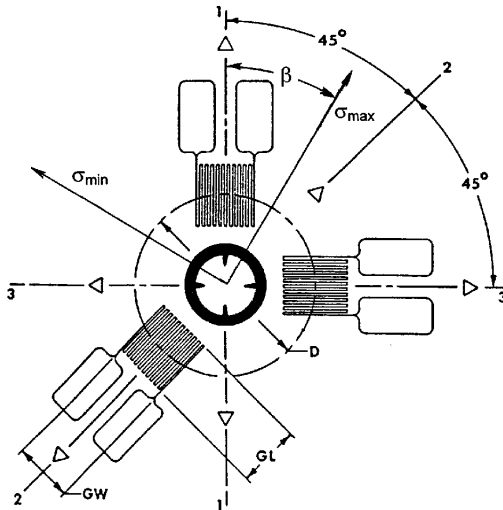


Figura 3: Disposición convencional de las bandas extensométricas y del taladro (círculo central) de acuerdo con la Norma ASTM E837-99. Las galgas 1 y 3 se disponen perpendicularmente entre sí, mientras que la galga 2 se dispone sobre la bisectriz, en el lado opuesto, de dichas direcciones. "D" es el diámetro de la circunferencia de galgas mientras que "d" es el diámetro del taladro. σ_{max} y σ_{min} son las tensiones principales máxima y mínima respectivamente y β su posición respecto a una dirección conocida. (Fuente: ASTM E837-95)

En el caso de fábricas de sillería la zona de medida se elige de tal modo que todo el proceso experimental pueda realizarse en un sillar. Nunca las bandas o el taladro deben de incluir el mortero. En lo que respecta a las fábricas de ladrillo el pulido superficial debe de abarcar una zona tal que asegure que las bandas extensométricas se colocarán sobre un ladrillo (cada una en un ladrillo) y que el taladro se centre en otro. En todo caso, en el análisis de fábricas de ladrillo el taladro abarcará forzosamente mortero y ladrillo.

2.2.- Procedimiento experimental

El procedimiento experimental es laborioso y se compone de varios pasos que tienen todos ellos una fuerte incidencia en los resultados. En vez de utilizar tres bandas extensométricas como propone la Norma ASTM E837-95, para el análisis de las fábricas de sillería se van emplear siempre ocho bandas con el objeto de eliminar o modular posibles errores experimentales. No es posible utilizar un número tan elevado de galgas en fábricas de ladrillo por lo que se empleará el número inicial de tres. La praxis es la siguiente:

1. Elección y pegado de las bandas extensométricas
2. Una vez adheridas las bandas extensométricas, se conectan mediante "medio puente de Wheastone" a un equipo multicanal de registro de deformaciones.
3. Registro de deformaciones antes del taladrado
4. Taladrado
5. Registro de las deformaciones después del taladro
6. Obtención de los estados tensionales

Las tensiones principales y sus direcciones se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$$\sigma_{\max} = \frac{\varepsilon_3 + \varepsilon_1}{A} - \frac{1}{B} \cdot \sqrt{(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_3 + \varepsilon_1 - 2 \cdot \varepsilon_2)^2} \quad (4)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{\varepsilon_3 + \varepsilon_1}{A} + \frac{1}{B} \cdot \sqrt{(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_3 + \varepsilon_1 - 2 \cdot \varepsilon_2)^2} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \cdot \arctan g \left(\frac{\varepsilon_3 + \varepsilon_1 - 2 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_3 - \varepsilon_1} \right) \quad (6)$$

siendo ε_1 , ε_2 y ε_3 las deformaciones registradas a 0° , 225° y 90° con una dirección de referencia, σ_{\max} y σ_{\min} son las tensiones principales máxima y mínima respectivamente y β es el ángulo entre σ_{\max} y la dirección de ε_1 medido en sentido antihorario (también es el ángulo entre σ_{\min} y la dirección de ε_3). Para la deducción del ángulo β debe de tenerse en cuenta los signos del numerador y del denominador.

La deducción de los estados tensionales a partir de las deformaciones registradas en las bandas está fuertemente influenciada por las Constantes A y B que relacionan aquellas con los estados tensionales que las originan. Dichas constantes A y B pueden determinarse de forma teórica en función de unos parámetros adimensionales (a y b), del módulo de Young (E) y del coeficiente de Poisson (ν), o bien experimentalmente mediante un ensayo basado en la realización de un taladro idéntico al llevado a cabo en el elemento portante en servicio, pero en este caso en una probeta paralelepípedica de similar calidad al material ensayado in situ.

3.- Técnicas dilatométricas

La técnica dilatométrica o presiométrica se trata de un ensayo de carga in situ realizado sobre un muro en el que se introduce una tensión mediante una sonda cilíndrica que alojada en una perforación practicada en la pared puede dilatarse radialmente. Se trata de un método adecuado de cuantificación in situ de propiedades mecánicas de fábricas involucradas en elementos de gran espesor.

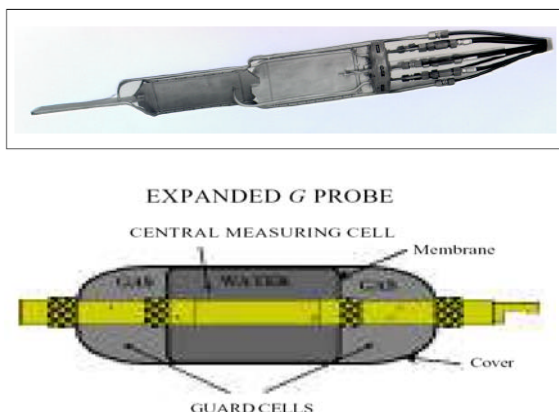


Figura 4: Detalle de las partes de la sonda. (Fuente: GLÖTZL Baumeßtechnik y Boviar)

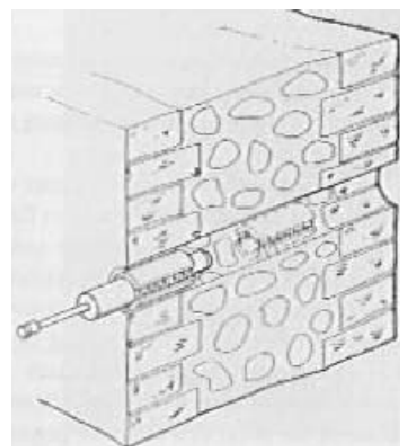


Figura 5: Perspectiva general de los dispositivos involucrados. (Fuente: J.L. Martínez)

A partir de las lecturas del ensayo puede obtenerse la curva tensión – deformación, de la que pueden estimarse parámetros mecánicos como el módulo presiométrico Menard o el límite elástico.

La unidad de control está equipada con dispositivos para una regulación precisa de la presión aplicada a la sonda y registrar sus incrementos volumétricos con las variaciones de presión y con el tiempo.

La sonda (*Figura 4*) incluye una célula de medición central, llena del agua. Sus cambios de volumen pueden leerse en el controlador de volumen. La sonda está totalmente protegida por una cubierta de goma que es inflada por el gas para formar las 2 células de guarda laterales. La presión aplicada a las paredes de perforación es mantenida constante a lo largo de las 3 células (las dos de guarda laterales y la central de medida) mediante un regulador diferencial de presión, de esta forma se garantiza que la deformación es verdaderamente radial a lo largo de la célula central de medición. Un cable coaxial flexible y de alta resistencia, conecta la sonda con la unidad de control.

El procedimiento de ensayo consiste en taladrar una perforación (*Figura 5*), cuidando de reducir al mínimo la perturbación en la pared, con un diámetro (en general de unos 50 – 70 mm) compatible con el tamaño de sonda a introducir (de unos 200 mm de longitud). La sonda es deslizada por la perforación hasta la profundidad requerida de ensayo, con posterioridad se aplica la presión en incrementos iguales. Tanto la presión suministrada como el incremento de volumen son registrados por la unidad de control. La sonda ejerce una tensión radial conocida contra el material que la rodea. Relacionando esta tensión con la deformación medida en la misma dirección (a partir de consideraciones de variación volumétrica) se obtiene un índice del módulo de deformación de la fábrica en la zona de aplicación.

Existe la posibilidad de desplazar la sonda y realizar el ensayo en distintos puntos a lo largo del recorrido facilitando la obtención de perfiles de distribución de determinadas propiedades mecánicas o niveles de tensión.

4.- Técnicas aplicadas para la caracterización mecánica de morteros.

4.1.- Métodos de ensayo para la medida in situ de la resistencia al corte de la junta de mortero de fábricas (“shove test” o “push test”).

La norma ASTM, C 1531-02: “*Standard Test Methods for In Situ Measurement of Masonry Mortar Joint Shear Strength Index*”, describe tres procedimientos para la determinación de la resistencia al corte media in situ de la junta de mortero en fábricas sin armar y fábrica de bloque hueco, tanto cerámicos como de hormigón.

El método denominado como A es el más completo de los recogidos (*Figura 6*), ya que se emplean dos gatos planos para controlar la tensión normal de compresión. Además el desplazamiento horizontal de la unidad ensayada se controla a lo largo del ensayo.

Los métodos B y C son más simples en tanto que el ensayo de corte solo se realiza para un nivel de tensión de compresión, el cuál es estimado mediante cálculo. En el ensayo B se controla a lo largo del ensayo el desplazamiento horizontal de la unidad ensayada, magnitud que generalmente no es registrada durante este procedimiento C.

La resistencia a corte de la junta de mortero obtenido mediante los métodos anteriores puede relacionarse con la resistencia a corte de la fábrica.

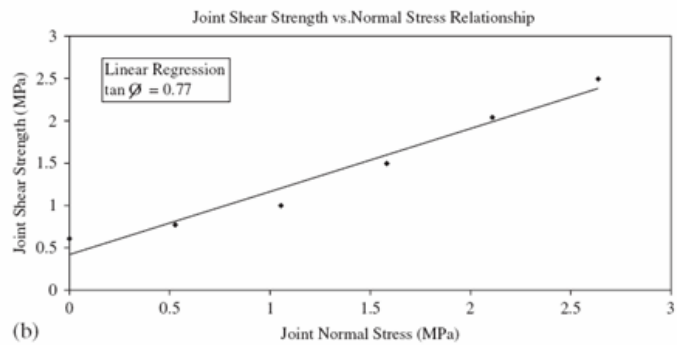
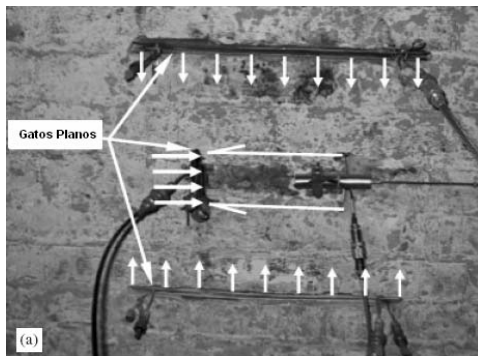


Figura 6: Configuración del ensayo del método A (el gato que moviliza el esfuerzo horizontal también puede ser un gato de émbolo). (Fuente: Schuller)

Resultado del ensayo: se obtiene la resistencia al corte para cada nivel de tensión normal. La ordenada en el origen representa la cohesión del mortero y la pendiente de la línea el ángulo de rozamiento interno movilizado.

4.2.- Resistencia a la penetración.

Se basan en relacionar la resistencia de un mortero con la penetración de un útil en su seno.

Los hay que se basan en la técnica denominada esclerometría de rechazo (Figura 7). Esta consiste en evaluar la dureza superficial de un mortero mediante un esclerómetro similar en concepción al martillo Schmidt pero con un impacto de baja energía. El índice esclerométrico determinado puede correlacionarse con el tipo de mortero y su resistencia.



Figura 7: Esclerometría de rechazo. (Fuente: G. Crocci)



Figura 8: Resistencia en base a la penetración. (Fuente: G. Crocci)

Existen en el mercado otros sistemas basados en la esclerometría de huella, consistentes en evaluar la resistencia del mortero en base a la resistencia que experimenta frente a la penetración de un elemento. Entre éstos se encuentra el método de la sonda Windsor que emplea como indicador de su resistencia la penetración de una aguja dentro de la junta del mortero. El método es difícil de aplicar a fábricas y no siempre proporciona buenos resultados. Otra forma de medir la resistencia a la penetración del mortero es en base a la resistencia que ofrece a la penetración de una punta (Figura 8). El número de golpes se correlaciona con el grado de penetración de la punta, comparando el resultado con otros previamente ensayados en laboratorio sobre probetas de las que se conocen sus características resistentes.

4.3.- Resistencia al arrancamiento (“pull-out test”).

La fuerza requerida para extraer una llave helicoidal instalada en una junta de mortero proporciona una medida de la resistencia del mortero. En los gráficos que siguen (Figuras 9 – 12) puede hacerse idea del procedimiento del ensayo.

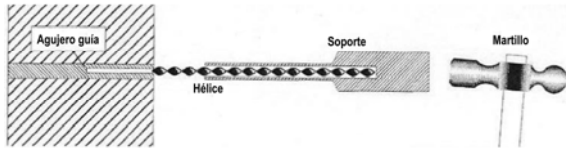


Figura 9: Fase 1, realización del agujero guía

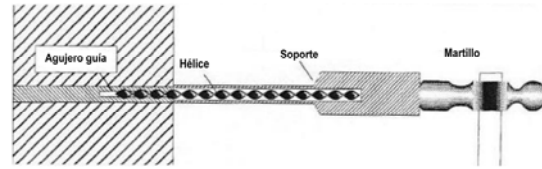


Figura 10: Fase 2, introducción de la broca

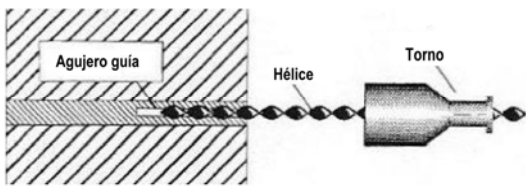


Figura 11: Fase 3, puesta en carga del torno

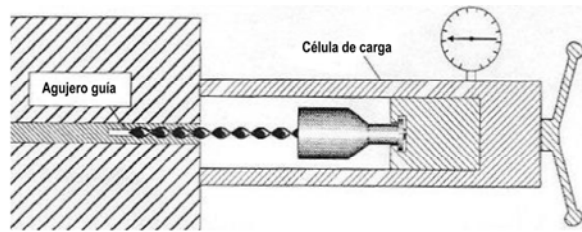


Figura 12: Fase 4, medida del esfuerzo de arranque

4.4.- Resistencia a la perforación (“Drilling resistance”).

Para el comportamiento mecánico de los morteros y piedra, se emplea el penetrómetro dinámico de rotación, con el cual se obtiene la resistencia a la penetración (DRMS, drilling resistance measurement system). El microtaladro de Sint Technology tiene capacidad de variación de velocidad de penetración y de giro, con una capacidad de 40mm de penetración e inspección, empleándose brocas con punta de diamante de 5mm de diámetro. El equipo (Figura 13) proporciona dos señales: Fuerza (F) que representa la fuerza realizada para vencer la resistencia al avance del taladro con la profundidad, y Par (T) la resistencia al giro. La técnica del penetrómetro de taladro ha detectado procesos patológicos de migración de sales y carbonataciones superficiales en puntos tanto de la piedra del edificio como de los morteros de separación.



Figura 13: Imagen del proceso del taladrado con el equipo DMRS. (Fuente: Aidico)



Figura 14: Penetrómetro PNT-G de morteros. (Fuente: Boviar)

Otro dispositivo existente en el mercado es el penetrómetro de morteros PNT-G (Figura 14) diseñado por el Prof. Natale Gucci de la Universidad de Pisa y calibrado por el laboratorio SIGMA de Florencia. Puede correlacionarse la resistencia del mortero de cal

con la energía necesaria para materializar la perforación de un agujero ciego con una broca dotada de cabeza de vidia. Midiendo la energía gastada en dicha operación puede obtenerse un parámetro muy significativo de las características mecánicas del mortero, con referencia particular a su resistencia.

5.- Bibliografía.

- (1) GTED-UC (Grupo de Tecnología de la Edificación de la Universidad de Cantabria), “Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido”. Santander. [libro de ponencias de la 1ª Jornada Nacional sobre Metodologías no destructivas aplicadas a la rehabilitación del patrimonio construido, noviembre 2006]
- (2) S. Sánchez Beitia, J. Barrallo, A. Zulueta. “El Método Donosita en torno a los 20 kp/cm²”. Ingeniería Civil 125/2002, págs. 113-123. [artículo]
- (3) P. Gregorczyk, P.B. Lourenço, “A Review on Flat-Jack Testing”; 2000. [artículo]
- (4) L. Binda, G. Baronio, M. Palma, D. Penazzi, “Il patrimonio storico architettonico ed il terremoto: la diagnosi e gli interventi di recupero. Località di roccanolfo di preci e montesanto di sellano: redazione di schede per il rilievo tipologico e dei danni sismici agli edifici”, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano. [artículo]
- (5) L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, “Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries”, Elsevier; January 2000. [artículo]
- (6) L. Binda, A. Saisi, “Non destructive testing applied to historic buildings: The case of some Sicilian Churches”, Politecnico of Milan, DIS-Dept. of Structural Engineering; 2001. [artículo]
- (7) J. Almendra Roque, “Caracterização Mecânica de Paredes Antigas de Alvenaria. Um Caso de Estudo no Centro Histórico de Bragança.”; 2003. [artículo]
- (8) M. P. Schuller, “Nondestructive testing and damage assessment of masonry structures”; John Wiley & Sons, Ltd.; 2003. [artículo]
- (9) C1196-04: “Standard test method for in situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flatjack measurements”. [normativa]
- (10) C1197-04: “Standard test method for in situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method”. [normativa]
- (11) RILEM LUM.D.2: “In-situ stress tests on masonry based on the flat jack”. [normativa]
- (12) RILEM LUM.D.3: “In-situ strength/elasticity tests on masonry based on the flat-jack”. [normativa]
- (13) ASTM E837-99: “Standard test method for determining residual stresses by the hole-drilling strain-gage method”. [normativa]
- (14) ASTM, C 1531-02: “Standard Test Methods for In Situ Measurement of Masonry Mortar Joint Shear Strength Index”. [normativa]