COMPORTAMIENTO DE LOS APLACADOS DE PIEDRA REFORZADOS

(INDUSTRIAL APPLICATIONS TO THE STONE COATINGS BEHAVIOUR)

Roberto Vera Soriano, Dr. Arquitecto
Catedrático de Universidad. Dpto. Construcciones Arquitectónicas
Escuela de Arquitectura de Alicante

Fecha de recepción: 24-IV-03

ESPAÑA

650-4

RESUMEN

Este trabajo presenta el resultado de la investigación llevada a cabo por un grupo del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela de Arquitectura de Alicante en colaboración con la industria de la piedra aplicada a la construcción. El trabajo muestra el comportamiento mecánico de las placas de piedra Bateig de Novelda, empleadas en fachadas ventiladas, reforzadas con fibra de vidrio adherida con resina epoxi.

SUMMARY

The improvement of the mechanical performance Bateig Novelda stone coatings anchored in back-ventilated facades has been studied after being reinforced with glass fiber frames adhered with epoxy resin.

En el comportamiento de los aplacados de piedra empleados en revestimientos de fachada son muchos factores los que inciden sobre las prestaciones exigibles a éstos.

Entre las prestaciones que un revestimiento debe poder ofrecer caben, desde las puramente estéticas, de capital importancia en la arquitectura, a las no menos importantes derivadas de la seguridad y la durabilidad del propio revestimiento relacionadas con el correcto comportamiento placa de piedra / anclaje de sustentación o de fijación.

Así como la piedra ha sido estudiada desde hace siglos, como componente material de primer orden en la construcción arquitectónica, la modificación paulatina de su forma de empleo, pasando del formato grande y pesado, propio de sillares, dovelas o revestimientos de gruesos considerables, a los aplacados contemporáneos de muy escaso espesor, no ha venido acompañada de investigaciones destinadas al estudio de su forma de colocarse en obra. La situación actual es la de un empleo masivo de

placas de piedra de 30 mm de grueso "medio" en un revestimiento flotante que se sitúa a varios centímetros de distancia del soporte estructural mediante la fijación con ele-

mentos metálicos y diferentes procedimientos de sustentación entre los que destaca, por su generalizada aplicación, el correspondiente a bulones o pasadores de varilla de acero introducida en el canto de la placa. Estos bulones actúan, en unos casos, como sustentadores del peso de la placa y retenedores y, en otros, como simples retenedores frente a los empujes de viento. Por tanto, la totalidad de las fijaciones se ven sometidas a esfuerzos de arrancamiento en ambos sentidos debidos a la acción alternativa, presión/succión del viento y la reacción retenedora frente al hundimiento contra el cuerpo del edificio o frente al vuelco por succión hacia el exterior.

Acciones más significativas sobre la fijación de una placa pétreo.

Objetivos de la investigación

La investigación nace de la necesidad de establecer un acercamiento al conocimiento sobre el comportamiento de esta unión bulón / placa de piedra de difícil modelización y estudio analítico debido, entre otras causas, a la escasa homogeneidad de la piedra y al difícil establecimiento de la relación correcta entre piedra, bulón de acero y casquillo protector que los separa.

La escasez de investigación al respecto, o de su falta de difusión, en un tema de la máxima actualidad y fuente de gran atención en el mundo de la arquitectura, de su construcción y en el aseguramiento de la calidad y las responsabilidades, ha propiciado llevar a cabo una propuesta que, más que una investigación cerrada, es una propuesta de viabilidad metodológica, de carácter experimental, de acercamiento al conocimiento de la fijación de la piedra como revestimiento flotante.

Por ello se ha creído conveniente evaluar, mediante experimentación y análisis de los resultados, las posibles mejoras que, en relación a la seguridad y a la estabilidad de la placa de piedra, podrían ser llevadas a cabo mediante la

UTILIZABLE BAJO CRITERIOS ESTÉTICOS

REDUCE RIESGO DE ROTURA HACIA EL INTERIOR (IMPACTOS)

Armado por el intrados.

incorporación, por adherencia superficial, de refuerzos con "mat" de fibra de vidrio, de diferente sección y diferente disposición, al canto de la placa pétreo en la zona de influencia de rotura del sistema de fijación.

También, debido al trabajo al que se ve sometida la placa de piedra en su plano por la acción del viento, con resultados de flexotracción, se ha pretendido analizar, igualmente, su comportamiento y posible mejora del mismo mediante el refuerzo con fibras de vidrio en el plano interno de la placa del revestimiento.

Variables estudiadas

Por las razones expuestas, los ensayos de este *plan experimental* se han destinado a determinar la influencia en la resistencia de los siguientes factores:

En flexotracción:

- Armado con dos gruesos diferentes de "mat" de fibra de vidrio.
- Influencia del canto de la piedra en cualquiera de los supuestos anteriores.

En arrancamiento de anclaje:

- Armado con dos gruesos diferentes de "mat" de fibra de vidrio.
- Influencia del canto de la piedra en cualquiera de los supuestos anteriores.

Material pétreo empleado

Se ha empleado una piedra sedimentaria arenisca de nombre comercial **Bateig** Fantasía Alicante (anteriormente conocida como *Caliza de Novelda*).

Es una piedra de larga aplicación en el campo de la construcción y especialmente en el de la arquitectura. El esta-

blecimiento del ferrocarril contribuyó a su utilización en Madrid donde la encontramos en numerosos edificios y monumentos: Ministerio de Agricultura, palacio de Linares, Estación de Príncipe Pío, Central de Correos, Central de Telefónica, Catedral de la Almudena, entre otros. Un resumen de sus características se recogen en la tabla adjunta ^(*).

Roca Bateig	Absorción (%)	P. e. (g/cm ³)	%Pérdida P.
Fantasia	6,37 ± 0,11	2,15 ± 0,01	0,05 ± 0,01

^(*)Ordóñez, S., García del Cura M^a A., Berenabéu, A. y Rodríguez, M. A. "Rocas ornamentales porosas del Mioceno marino de Levante. Proyecto PB95-0680. DGICYT. 1999

Resumen de características:

- Roca biocalcareníta
- Módulo de elasticidad E: 209.000 Kp/cm²
- Módulo de Poisson ν : 0,3
- Porosidad (% en volumen): 10,10 %
- Tamaño de grano: fino
- Tendencia a la alteración: media

Material de refuerzo

Para el armado de los dos grupos de probetas reforzadas con este material se han empleado fibras de vidrio no tejidas ("mat") de diferente gramaje según la ISO 3374.1990:

Tipo A: 300 gr/m²
Tipo B: 450 gr/m²

Las resistencias a tracción de los armados de refuerzo, según la ISO 3342.1987, son de^(*):

Tipo A: 13 Kp/cm
Tipo B: 15 Kp/cm

Armado de probetas para ensayos de flexotracción.

Para los ensayos a flexotracción se ha empleado "mat" de F.V. encolado en la cara traccionada.

Para los ensayos de arrancamiento el "mat" se ha dispuesto en forma de L sobre el canto de la piedra de manera que, en caso de ser aplicado este procedimiento sobre un aplacado de fachada, quedaría oculto el refuerzo.

Los refuerzos han sido en todos los casos en L sobre el canto y dimensiones: 150 mm + grueso de la probeta + 50 mm.

Material de encolado

El encolado de las fibras de vidrio y de las chapas de acero de refuerzo sobre la piedra se ha llevado a cabo mediante el adhesivo SIKADUR 32 FIX. Este adhesivo es una resina epoxi de dos componentes con las siguientes características ^(*):

Densidad: 1,14 Kg/l
Proporciones de la mezcla resina/catalizador : 3/1
Vida de la mezcla a 35 °C: 5-8 horas
Resistencia a flexotracción: 400-500 Kp/cm²
Resistencia a compresión: 600-800 Kp/cm²
Adherencia a hormigón: > 30 Kp/cm². Rompe el hormigón
Adherencia al acero: > 200 Kp/cm²
Endurecimiento total a 20-25 °C: 7 días

Armado de probetas con F. V. para ensayos de arrancamiento.

Plan de ensayos

El plan llevado a cabo responde a la necesidad de alcanzar los objetivos propuestos y consecuentemente comprender los siguientes ensayos:

Ensayos de caracterización. Compresión y flexotracción

Con estos ensayos, de compresión y de flexotracción llevados a cabo según el criterio establecido por las Normas

^(*) Datos facilitados por el fabricante y suministrador VETROTEX

^(*) Datos facilitados por el fabricante y suministrador SIKA S.A.

UNE-EN 1926 (12/99) y UNE-EN 12372 (12/99) se caracterizó mecánicamente el comportamiento de la piedra.

Descripción del modelo de ensayos de arrancamiento

Dado que se pretende estudiar el comportamiento del anclaje de acero en el canto de una placa de piedra ante fuerzas de arrancamiento, se ha diseñado un modelo que permita llevarlo a cabo.

El dispositivo de ensayo se ha diseñado teniendo en cuenta la escasa normativa al respecto.

Para ello se ha previsto el empleo por, una parte, de dos placas de acero de elevada rigidez que, a modo de mordazas, sujetan firmemente la placa de piedra y descansan sobre el plato de la prensa. Estas placas son gemelas de otras dos, lo que permite llevar a cabo el ensayo de arrancamiento exactamente a como ocurriría la rotura en una pieza de piedra dispuesta en la fachada de un edificio sujeta mediante un anclaje de aguja o bulón y expuesta a la presión del viento o a un impacto.

Dispositivo de ensayo a arrancamiento.

Dispuestas como se aprecia en la figura anexa, los dos pares de mordazas de acero que sujetan, a su vez, al par de placas de piedra mediante la interposición de dos láminas de neopreno, apoyan sobre una plancha intermedia entre aquéllas y el plato. Con la tenaza de la prensa se sujeta

una pletina a la que atraviesa, por su extremo inferior, la varilla de acero que debe insertarse en los cantos de las placas de piedra y que se va a ensayar traccionando sobre el mismo, perpendicularmente a su eje, mediante la citada pletina.

Ensayos a flexotracción

Como ya se ha expuesto se pretende analizar el comportamiento de las placas de piedra sometidas a flexión que han sido armadas en su cara mas traccionada mediante refuerzos con fibra de vidrio de diferente gramaje (dos clases de densidad de fibra por unidad lineal).

La disposición del armado de las probetas a flexotracción se lleva a cabo de la forma expresada en la figura adjunta.

De cada tipo de probeta expuesto se ensayan tres unidades, obteniéndose de cada serie la carga de rotura media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Para ello se ensayan a rotura placas de piedra:

Disposición de la probeta y su armado para ensayo a flexotracción.

- a) sin armar
- b) armadas con "mat" de fibra de vidrio (tipo A) de 300 gr/m²
- c) armadas con "mat" de fibra de vidrio (tipo B) de 450 gr/m²

Probetas ensayadas según el plan

El conjunto de probetas del plan responde a las necesarias para llevar a efecto los ensayos previstos según los objetivos descritos. Todos los ensayos se llevaron a cabo a la temperatura ambiente del laboratorio de 20 ± 2 °C.

De caracterización

- 1.a En sayos de **compresión**. Probetas de 70x70x70 mm.
- 1.b Ensayos de **flexotracción**. Canto 30 y 40 mm. PATRÓN.

Ensayos de flexotracción

- 2. Ensayos a **flexotracción** de la placa de 30 mm **armada** con material A de F.V. Seca
- 3. Ensayos a **flexotracción** de la placa de 40 mm **armada** con material A de F.V. Seca
- 4. Ensayos a **flexotracción** de la placa de 30 mm **armada** con material B de F.V. Seca
- 5. Ensayos a **flexotracción** de la placa de 40 mm **armada** con material B de F.V. Seca.

De arrancamiento de anclaje con bulón de fijación

A los efectos de estudiar el comportamiento de la placa de piedra sometida a esfuerzos de arrancamiento del anclaje (bulón) de fijación se ha previsto ensayar a rotura placas de piedra de 30 y 40 mm de canto con una anchura de dimensiones 150 mm para ser ensayada con el procedimiento establecido por la *NFB 10-514 Essai de résistance aux attaches* y habiendo considerado la anchura de 150 mm para adoptar el criterio establecido en la DIN 18516 Parte 3 Ap.4.3.1 de no considerar riesgo de afectación de rotura zonas de piedra a mayor distancia del eje del bulón que la expresada en función del grueso de la placa; para ello se dispusieron las siguientes clases de probetas:

- a) sin armar. PATRÓN
- b) armadas con mat de fibra de vidrio tipo A de 300 gr/m²
- c) armadas con mat de fibra de vidrio tipo B de 450 gr/m²

Todos los ensayos se llevaron a cabo a la temperatura ambiente del laboratorio de 20 ± 2 °C.

El armado se ha llevado a cabo de la forma reflejada en la figura adjunta.

1. Ensayos de **arrancamiento** en piedra (seca y saturada) Canto 30 y 40 mm. PATRONES

2. Ensayos de **arrancamiento** en placa de 30 mm armada con material A de F.V.

3. Ensayos de **arrancamiento** en placa de 40 mm armada con material A de F.V.

4. Ensayos de **arrancamiento** en placa de 30 mm armada con material B de F.V.

5. Ensayos de **arrancamiento** en placa de 40 mm armada con material B de F.V.

Los ensayos se llevan a cabo con armado dispuesto en posición "superior" y en posición "inferior", es decir, se duplica el número de los ensayos descritos, en función del sentido del esfuerzo a que se somete la probeta.

Disposición del armado con fibra de vidrio.

El número de probetas para cada tipo de ensayo ha sido de tres, habiéndose adoptado el criterio de repetir el ensayo cuando se ha comprobado que la rotura ha venido dada por una microfisura o "pelo" o cualquier anisotropía en la placa imperceptible a simple vista previamente a la prueba.

Al igual que establece la citada norma ASTM y el prEN 13364-1998, las piedras han sido seleccionadas, cortadas y ensayadas tal como serían dispuestas en el aplacado de una fachada, así como obtenidas del mismo frente y bloque de cantera.

RESUMEN DE PROBETAS ENSAYADAS

ENSAYO	DIMENSIÓN (mm)	ESTADO	Nº	TOTAL
COMPRESIÓN	70X70X70	SECO	6	12
	70X70X70	SATURADO	6	

PROBETAS PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN

ENSAYO	GRUESO (mm)	ESTADO	POSICIÓN ARMADO	ARM.TIPO	Nº	TOTAL
FLEXOTRACCIÓN PATRÓN	30	SECO	-	-	3	6
	40	SECO	-	-	3	
FLEXOTRACCIÓN ARMADA	30	SECO	INFERIOR	A	3	12
	40	SECO	INFERIOR	A	3	
	30	SECO	INFERIOR	B	3	
	40	SECO	INFERIOR	B	3	

PROBETAS PATRÓN Y CON ARMADO DE F. V. PARA ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN

ENSAYO	GRUESO (mm)	ESTADO	POSICIÓN ARMADO	ARM.TIPO	Nº	TOTAL
ARRANCAMIENTO PATRÓN	30	SECO	-	-	3	6
	40	SECO	-	-	3	
ARRANCAMIENTO ARMADA	30	SECO	INFERIOR	A	3	12
	40	SECO	INFERIOR	A	3	
	30	SECO	INFERIOR	B	3	
	40	SECO	INFERIOR	B	3	

PROBETAS PATRÓN Y CON ARMADO DE F. V. POSICIÓN INFERIOR PARA ENSAYOS A ARRANCAMIENTO

ENSAYO	GRUESO	ESTADO	POSICIÓN ARMADO	ARM.TIPO	Nº	TOTAL
ARRANCAMIENTO PATRÓN	30	SECO	-	-	3	6
	40	SECO	-	-	3	
ARRANCAMIENTO ARMADA	30	SECO	SUPERIOR	A	3	12
	40	SECO	SUPERIOR	A	3	
	30	SECO	SUPERIOR	B	3	
	40	SECO	SUPERIOR	B	3	

PROBETAS CON ARMADO DE F. V. POSICIÓN SUPERIOR PARA ENSAYOS A ARRANCAMIENTO

Uillaje empleado

Para ensayos de caracterización de la piedra

Para los ensayos de caracterización de la piedra se ha optado por el procedimiento normalizado destinado a ensayos de compresión y de flexotracción según UNE-EN 1926 (12/1999) y UNE-EN 12372 (12/1999).

Para ensayos de comportamiento a flexotracción del elemento pétreo en forma de placa

Se opta por llevarlo a cabo sometiendo a flexotracción una placa de 70 mm de anchura, longitud 400 mm y de los espesores previstos en el plan (30 y 40 mm).

La carga se lleva a cabo apoyando la probeta sobre cuñas separadas $L=300$ mm y cargando mediante dos cuñas de transmisión de carga separadas $L/3$.

La disposición del dispositivo de ensayo difiere ligeramente, así como las dimensiones de las piezas a ensayar, para lo cual se ha variado consecuentemente la expresión matemática de cálculo de tensiones respecto a la propuesta por la UNE citada, debido a los requerimientos de armado de las piezas, que exigían mayores dimensiones para uniformar el correcto armado. No se modifica, sin embargo, el modelo de rotura que la UNE prevé para probetas de explotación minera, que mantiene el momento flector constante en un tramo suficientemente amplio para no errar en la determinación de los esfuerzos.

Aparatos requeridos:

-Prensa que permite ensayos de compresión y de flexotracción con fondo de escala $< 1/5$ de la carga de rotura. Debe permitir ensayar con velocidad de carga uniformemente creciente a razón de 50 N/s (5 Kp/s) (prEN 13364:1998 AFNOR).

Marca de la prensa: OMADISA. Funcionamiento electromecánico. Medidor digital controlado por PC. Registro en Kp y N.

Para ensayos de arrancamiento del anclaje

- Conjunto de placas y pletina de tracción de acero con la disposición y dimensiones en los gráficos expresadas y láminas de neopreno de 2 mm. Este conjunto, de gran rigidez, responde a los criterios establecidos por la ASTM C-1354-96^(*) en el sentido de que debe ser lo sufi-

Prensa y dispositivo de ensayo de probetas a flexotracción.

cientemente rígido para no ceder mientras se soporta la carga máxima posible y, en todo caso, limitando la desviación a menos de 1 mm y a una rotación de menos de 2 grados.

- Bulones o agujas de anclaje de $5 \pm 0,2$ mm de ϕ y longitud de $50 \pm 0,2$ mm de acero inoxidable AISI-304 o tipo 1.4571 según EN 10 008.

- Casquillos de nylon envolventes de los bulones que impidan el contacto de estos con la piedra y el vástago de esfuerzo, de $5 \pm 0,8$ mm y ϕ interior 4,9 mm.

-Prensa con tenaza y fondo de escala $< 1/5$ de la carga de rotura que debe permitir establecer una velocidad de carga uniformemente creciente de 50 ± 5 N/s hasta la rotura (**).

Fabricación de probetas para ensayos con sistema de refuerzo de fibra de vidrio

Dado que el refuerzo se lleva a cabo con diferentes fibras de diferente composición, pero con el mismo sistema de adhesión, se requiere:

- Bandas de material de refuerzo de las dimensiones indicadas en los gráficos adjuntos y de diferente naturaleza (ancho igual al de la probeta) y que en el caso de las probetas a flexotracción muere a 50 mm de los apoyos para no sufrir pinzamientos por éstos.

-Cola de pegado SIKADUR 32 ADHESIVO (base epoxídica) de propiedades ya descritas

-Utensilio de aplicación: brocha plana

Para perforación de cantos

Brocas de ϕ 6 mm de punta de diamante y carburo de tungsteno.

^(*) ASTM C 1354-96 Estándar test method for strength of individual stone anchorages in dimension stone.

^(**) prEN 13364. Méthodes d'essai pour pierres naturelles. Détermination de l'effort de rupture au niveau du goujon de l'agrafe.

Prensa y dispositivo de ensayo de probetas arrancamiento.

Perforadora de velocidad variable, con tope de la profundidad de perforación y sin percusión.

Regleta-plantilla posicionadora del punto de perforación de acero de 5 mm de espesor.

Colocación del bulón

En las probetas destinadas a ensayo de arrancamiento, el bulón o vástago de anclaje se colocaba tras introducir manualmente y sin forzar el casquillo de nylon en el orificio, a la vez que se pasaba por el tirante de pletina de la prensa.

Disposición de las probetas en la prensa

En el caso de ensayo a arrancamiento las placas de piedra, en pareja en todos los casos, se disponían sobre los platos/tenaza con separadores de lámina de neopreno para distribución uniforme de tensiones.

Tras enfrentarlas con el bulón introducido en ambos cantos se procede a apretar las placas e iniciar la tracción con el medidor de carga puesto a cero.

LOS ENSAYOS

De compresión

Los ensayos de compresión han sido llevados a cabo con el procedimiento de la UNE-EN 1926 12/99

De flexotracción

Los ensayos de flexotracción han sido llevados a cabo con probetas de 400 x 70 x canto de 30 y 40 mm, armadas y sin armar.

Se ha aplicado una carga monótonamente creciente a razón de 70N/s hasta la rotura según el procedimiento de la UNE-EN 12372 12/1999.

Bulón con casquillo.

Disposición de las placas para el ensayo de arrancamiento.

De arrancamiento

Los ensayos de arrancamiento han sido llevados a cabo con probetas de 150 x 200 x canto de 30 (40) mm, armadas y sin armar.

Las probetas sin armar se han ensayado con la piedra seca y saturada.

Se ha aplicado una carga monótonamente creciente a razón de 50N/s hasta la rotura.

Dado que la carga de rotura Q corresponde a la obtenida por rotura simultánea de las dos probetas ensayadas en cada prueba, o bien por la rotura individual de una de ellas, la carga soportada por la probeta a los efectos de evaluar capacidad resistente en posibles procedimientos de dimensionamiento debe considerarse como la de valor 50% de la expresada en los datos del plan, ya que debe admitirse que Q es la carga que soportarían entre las dos probetas un instante antes de que cualquiera de ellas fallase.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS Y DISCUSIÓN

Introducción

Excepto en el de compresión con seis probetas, en los demás ensayos se han llevado a cabo tres determinaciones y en todos los casos se han calculado los valores correspondientes al valor medio, las desviaciones típicas " δ " y el coeficiente de variación (C.V.)

Discusión

La discusión de los resultados expuestos se lleva a cabo en este documento en los apartados correspondientes a los ensayos de caracterización a compresión de la piedra más los del conjunto de los diferentes grupos de ensayos practicados:

- Flexotracción
- Arrancamiento con armadura de F.V.

La discusión parte de la valoración de los resultados y la valoración de la variabilidad de los mismos. A continuación se analiza la influencia que sobre los resultados han tenido las variables introducidas en el proyecto:

Canto de las probetas

Tipo y disposición del armado

PROBETAS PATRÓN

SECA			SATURADA		
Kp/cm ²	δ	C.V.	Kp/cm ²	δ	C.V.
383,89	39,96	10,41	361,62	51,03	14,11

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

PROBETA	Q_R (Kp)	T	C.V.%	δ
SECA	165,33	78,73	12,78	10,06
SATURADA	122,67	58,41	6,79	3,97

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN. PROBETAS PATRÓN. GRUESO 30 mm. C. V. y δ

PROBETA	Q_R (Kp)	T	C.V.%	δ
SECA	306,67	82,14	7,53	6,19
SATURADA	204,33	54,73	4,80	2,63

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN. PROBETAS PATRÓN. GRUESO 40 mm. C. V. y δ

FLEXOTRACCIÓN ARMADAS CON "MAT" DE FIBRA DE VIDRIO

PROBETA	Q_R (Kp)	C.V.	δ
ARM. A	203,00	6,77	13,75
ARM. B	214,67	9,60	20,60
		$\Sigma = 16,37$	

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN. PROBETAS ARMADAS CON F. V. TIPO A y B. GRUESO 30 mm. C. V. y δ

PROBETA	Q_R (Kp)	C.V.	δ
ARM. A	335,00	14,50	48,59
ARM. B	334,33	1,99	6,66
		$\Sigma = 16,49$	

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A FLEXOTRACCIÓN. PROBETAS ARMADAS CON F. V. TIPO A y B. GRUESO 40 mm. C. V. y δ

PROBETA	C.V. 30mm	δ 30mm	C.V. 40mm	δ 40mm	Σ C.V.
SIN ARM	12,78	21,13	7,53	23,09	20,31
ARM A	6,77	13,75	14,50	48,59	21,27
ARM B	9,60	20,60	1,99	6,66	11,59

VARIABILIDAD DE LOS RESULTADOS

En primer lugar cabe resaltar que en los resultados medios obtenidos con todas las variantes para las probetas, tanto las de 30 mm como las de 40 mm, las dispersiones obtenidas son realmente bajas.

En relación al conjunto de resultados puede observarse que la Σ C. V. en los resultados de las probetas de 30 mm y 40 mm con el armado A vale 21,27 % y con el armado B vale 11,59%, lo que implica que, en conjunto, el armado de mayor sección se aprovecha como reductor de variabilidad de resultados u homogeneizador de los mismos (ver tablas página siguiente).

En la Tabla inferior se indican los resultados obtenidos en cargas de rotura que muestran de forma más significativa la influencia que el canto y el armado tienen sobre los resultados en valor absoluto.

De la Tabla superior se deduce respecto a las probetas de 30 mm de grueso que:

- Los armados de refuerzo han supuesto, en todos los casos, una mejora del comportamiento resistente de las probetas sobre las probetas patrón en su mismo estado.

ARMADO	CANTO (mm)	Q_R
PATRÓN	30	165,33
PATRÓN	40	306,67
A	30	203,00
B	30	214,67
A	40	335
B	40	334,33

CARGA DE ROTURA A FLEXOTRACCIÓN

PROBETA	Q_R (Kp)	Q_R' / Q_R PATRÓN
PATRÓN	165,33	1
ARM. A	203,00	1,23
ARM. B	214,67	1,30

RELACIÓN ENTRE CARGAS DE ROTURA A FLEXOTRACCIÓN. GRUESO PROBETA 30 mm

- La mejor relación se da respecto a su patrón con el armado B que supone una mejora del 30%

-Respecto a las probetas de 40 mm de grueso, de los valores expresados en la Tabla siguiente cabe afirmar, como resultados de mayor interés, que el armado ha supuesto en todos los casos una mejora respecto al patrón sin armar, aunque la mejora no ha sido tan elevada como en el caso de las probetas de menor canto, debido al agotamiento de la piedra a compresión.

PROBETA	Q_R	Q_R' / Q_R PATRÓN
SIN ARM.	306,67	1
ARM. A	335,00	1,09
ARM. B	334,33	1,09

ROTURA A FLEXOTRACCIÓN. GRUESO PROBETA 40 mm

En relación a la influencia del grueso de la probeta, en los resultados, como puede observarse en todos los casos, las cargas de rotura son mayores en las probetas de mayor grueso, 40 mm, que en las de 30 mm. Esta diferencia de resistencia sin embargo se reduce, como se desprende de la 4ª columna de la Tabla siguiente, cuando las probetas se arman y, especialmente, cuando el armado es de mayor

densidad, lo que significa un menor aprovechamiento del armado cuando aumenta el grueso de la probeta ensayada y un menor grado de aprovechamiento del armado B en relación al armado A.

PROBETA	30 mm	40 mm	Q_R 40 / 30 mm
	Q_R (Kp)	Q_R (Kp)	
PATRÓN	165,33	306,67	1,85
ARM. A	203,00	335,00	1,65
ARM. B	214,67	334,33	1,56

INFLUENCIA DEL GRUESO DE LA PROBETA EN LOS RESULTADOS A FLEXOTRACCIÓN

Con canto de 40 mm las Q_R no difieren más que ligeramente por el empleo de un armado u otro lo que supone que no se justifica el empleo de un armado de mayor sección, al contrario de lo que ocurría con las probetas de canto 30 mm en las que sí se justifica la mejora del refuerzo que conlleva un aumento significativo de las cargas últimas, 214,67 Kp con armado B, frente a 203,00 Kp con armado A.

ENSAYOS DE ARRANCAMIENTO DE LAS PROBETAS PATRÓN

En la Tabla adjunta, se recogen los resultados de las probetas patrón y las reforzadas, respectivamente y, como en casos anteriores, también la variabilidad de los resultados expresada tanto como desviación típica como coeficiente de variación (C. V.) en tanto por ciento.

GRUESO	PROBETA	Q_R (Kp)	C.V.	δ
30 mm	PATRÓN	256,67	9,00	23,09
	ARM. A Inf.	316,67	25,53	80,21
	ARM. A Sup.	313,33	12,90	40,41
	ARM. B Inf.	366,67	13,73	50,33
	ARM. B Sup.	410,00	12,67	51,96
40 mm	PATRÓN	308,67	0,75	2,31
	ARM. A	613,33	9,27	56,86
	ARM. A Sup.	593,33	21,07	125,03
	ARM. B	610,00	21,31	130,00
	ARM. B Sup.	546,67	27,46	150,11

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ARRANCAMIENTO

ARRANCAMIENTO DE LAS PROBETAS REFORZADAS CON FIBRA DE VIDRIO.

Los resultados, como normalmente ocurre en los materiales pétreos sometidos a fuerzas de cortante, presentan elevadas dispersiones.

En la Tabla siguiente, que igualmente muestra los resultados de los ensayos de las probetas armadas y las probetas patrón sin armar en todo los estados ensayados, en la cuarta columna se recogen los cocientes entre los resultados de las probetas armadas y la patrón correspondiente, relacionando las probetas armadas con las que no lo están a la vez que permite comparar la influencia de la posición del armado, superior o inferior.

De los resultados expresados, se realizan las siguientes valoraciones:

- Las probetas armadas mejoran sus prestaciones respecto a la patrón no armada de forma muy significativa con cualquier clase de armado y en cualquier disposición de éste frente a los esfuerzos.
- La acción derivada de la disposición inferior o superior del armado no es relevante en ningún caso.
- En las probetas de mayor canto, el refuerzo no se aprovecha tanto, como ocurría en flexotracción, siendo el re-

PROBETA	ARMADO	Q_R (Kp)	Q_R / Q_P
30 mm	PATRÓN	256,67	1
	A Inf.	316,67	1,23
	A Sup.	313,33	1,22
	B Inf.	366,67	1,43
	B Sup.	410,00	1,60
40 mm	PATRÓN	308,67	1
	A Inf.	613,33	1,99
	A Sup.	593,33	1,92
	B Inf.	610,00	1,98
	B Sup.	546,67	1,77

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ARRANCAMIENTO CON PROBETAS ARMADAS EN RELACIÓN A LAS PROBETAS PATRÓN

sultado igual, tanto con el armado de menor como con el de mayor gramaje.

En la Tabla siguiente se han ordenado los resultados de los dos gruesos de probetas con sus diferentes armados y estados de ensayo. Aparte de las cargas de rotura Q_R , se hace constar, en una columna, la relación obtenida con las probetas de 40 mm y de 30 mm y, a pie de cada columna correspondiente a un armado determinado, las resistencias medias de rotura Q_{Rm} de las probetas de los dos gruesos con sus armados A o B, de forma separada. También

PROBETA	Q_R 30 mm	Q_R 40 mm	Q_R 40/30	C.V. 30 mm	C.V. 40 mm
PATRÓN	256,67	308,67	1,20	9,00	0,75
PATRÓN	230,00	336,67	1,46	8,70	21,49
-	$Q_{Rm} = 243,34$	$Q_{Rm} = 322,67$	$40/30_m = 1,33$	$\Sigma C.V. = 17,70$	$\Sigma C.V. = 22,24$
ARM .Inf.A	316,67	613,33	1,94	25,53	9,27
ARM .Sup.A	313,33	593,33	1,89	12,90	21,07
ARM .Inf..A	226,67	566,33	2,50	10,19	2,05
ARM .Sup.A	228,00	560,00	2,46	4,56	13,95
ARM .Inf.A	320,00	506,67	1,58	11,27	14,94
ARM .Sup.A	410,00	675,00	1,65	28,13	1,31
-	$Q_{Rm} = 302,45$	$Q_{Rm} = 585,78$	$40/30_m = 1,94$	$\Sigma C.V. = 92,58$	$\Sigma C.V. = 62,59$
ARM .Inf.B	366,67	610,00	1,66	13,73	21,31
ARM .Sup.B	410,00	546,67	1,33	12,67	27,46
ARM .Inf.B	273,33	573,33	2,09	11,18	21,67
ARM .Sup.B	316,77	640,00	2,02	6,57	11,08
ARM .Inf.B	286,67	526,67	1,84	17,56	10,80
ARM .Sup.B	400,00	566,67	1,42	10,90	7,35
-	$Q_{Rm} = 342,24$	$Q_{Rm} = 577,22$	$40/30_m = 1,73$	$\Sigma C.V. = 72,61$	$\Sigma C.V. = 99,67$
-	$Q_{RmT} = 322,35$	$Q_{RmT} = 581,50$	-	$\Sigma C.V. = 165,19$	$\Sigma C.V. = 162,26$

INFLUENCIA DEL GRUESO DE LA PROBETA EN LAS CARGAS DE ROTURA Y EN LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN

se indica el resultado medio de las relaciones de cargas de rotura entre las probetas de 40 mm y de 30 mm, $Q_{R\ 40/30}$ mm a pie de datos de cada columna correspondiente a un armado determinado. A pie de Tabla se indica la carga media de rotura total Q_{RmT} de cada grueso de probetas, sin patrón, en cada columna perteneciente a cada tipo de probetas y de ellas se desprenden las siguientes consecuencias:

- En las probetas de 30 mm se obtiene unas resistencias medias con el armado A de 302,45 Kp y con el armado B de 342,24 Kp, lo que supone una mejora media de un 13,16% al aumentar la sección del refuerzo.
- En las probetas de 40 mm se obtiene unas resistencias medias con el armado A de 585,78 Kp y con el armado B de 577,22 Kp, lo que supone que el aumento de sección del armado no supone aumento de resistencia de la placa.
- Las probetas de 40 mm armadas con refuerzo del tipo A alcanzan una resistencia media prácticamente del doble que las de 30 mm con el mismo refuerzo.
- Las probetas de 40 mm armadas con refuerzo del tipo B mejoran la resistencia de las equivalentes con armado A en un 68,90%.
- Así como la relación entre cargas de rotura medias de las patrón de 40 mm y las de 30 mm es de $322,67/243,33=1,33$, al armar las probetas ese cociente, en el caso del armado del tipo A, vale 1,94 y, en el caso del armado del tipo B, 1,73, es decir, que al armar se incrementa dicho cociente, hay una mejora resistente del conjunto de las probetas armadas de 40 mm respecto a las de 30 mm con cualquier clase de armado, no dependiendo únicamente del grueso de la placa de piedra, como lo demuestra la proporción de resistencias dadas por las probetas patrón.

CONCLUSIONES

1ª En las probetas de 30 mm de canto los armados de refuerzo de F.V. en los ensayos de flexotracción han supues-

to, en todos los casos, una mejora resistente de las probetas armadas sobre las probetas patrón.

2ª En las probetas de 30 y de 40 mm armadas con fibra de vidrio, sometidas a ensayos de arrancamiento, la acción derivada de la disposición inferior o superior del armado no es relevante.

3ª Las probetas de 40 mm con refuerzo del tipo A alcanzan una resistencia media al arrancamiento prácticamente del doble que las de 30 mm con el mismo refuerzo.

4ª Las probetas de 40 mm armadas con refuerzo del tipo B mejoran la resistencia al arrancamiento de las equivalentes con armado A en un 68,90%.

5ª Del conjunto de resultados con toda clase de armados y en todas las clases de ensayo, los peores resultados bajo esfuerzos de arrancamiento han correspondido a la posición "inferior" del armado, tanto en 30 como en 40 mm.

6ª Al margen de los resultados, satisfactorios en general, resultantes del refuerzo tanto en flexión como en arrancamiento, los ensayos llevados a cabo muestran, por una parte, una mejora en la ductilidad y, por otra, una mejora de la seguridad al evitar el desprendimiento de las placas, o de sus fragmentos, sin aviso previo, especialmente en caso de impactos, ráfagas de viento o movimientos sísmicos.

7ª Este trabajo muestra la conveniencia de continuar la investigación experimental, tratando de comprobar la aceptabilidad de los modelos propuestos en relación a procedimientos de cálculo.

8ª Los resultados obtenidos han permitido, por un lado, la mejora del conocimiento sobre el comportamiento de la piedra de arenisca Bateig y, por otro, la apertura de una vía destinada a mejorar las prestaciones mecánicas y la seguridad en el empleo de los aplacados pétreos en fachadas trasventiladas.

* * *