

## **Caracterización mecánica y estudio de la durabilidad de refuerzos de materiales pétreos, en ambiente marino, a base de morteros poliméricos y cementicios con acero inoxidable y superinoxidable: Estudio de viabilidad técnica de la reconstrucción de una estructura marina de roca natural**

I. LOMBILLO <sup>(1)</sup>, C. THOMAS <sup>(2)</sup>, L. VILLEGAS <sup>(1)</sup>, J. A. POLANCO <sup>(2)</sup>, J. SETIÉN <sup>(2)</sup>, M<sup>a</sup>. V. BIEZMA <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. Ingeniería Estructural y Mecánica, Universidad de Cantabria, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, C. y P. Avda. Los Castros s/n, Santander, 39005 España.

Teléfono: 942201743, [ignacio.lombillo@unican.es](mailto:ignacio.lombillo@unican.es)

<sup>(2)</sup> Dpto. Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales, Universidad de Cantabria, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, C. y P. Avda. Los Castros s/n, Santander, 39005 España.

### **Resumen**

La finalidad de este artículo es exponer los resultados de una campaña experimental llevada a cabo para estudiar la viabilidad técnica de la reconstrucción de la Isla Horadada sita en la bahía de Santander. Se han realizado ensayos para la caracterización mecánica y de durabilidad en ambientes marinos de los refuerzos de materiales pétreos, a base de morteros poliméricos y cementicios con acero inoxidable y superinoxidable.

Dentro de la campaña experimental desarrollada se han realizado ensayos mecánicos, para la caracterización mecánica de los adhesivos y del sistema piedra-adhesivo-acero, y relacionados con la durabilidad de los materiales adhesivos y del subsistema adhesivo-acero inoxidable o superinoxidable.

Desde un punto de vista mecánico los ensayos realizados han sido los necesarios para evaluar la resistencia a flexotracción y compresión de probetas con varios tipos de resina epoxi, con distintas dosificaciones de morteros poliméricos base epoxi y de morteros cementicios. Con dichas probetas también se realizaron ensayos de tracción indirecta, "Brasileño", y se determinaron algunas de sus propiedades mecánicas, tales como el Módulo de Elasticidad y el Coeficiente de Poisson. Igualmente se realizaron ensayos para obtener la tensión de adherencia a cortante entre la piedra caliza y el mortero polimérico empleado para el anclaje, ensayos de fatiga a tracción de anclajes, ensayos de tracción para evaluar la efectividad del anclaje, ensayos a flexión y corte de prismas pétreos de roca natural, y de dichos prismas de roca reforzados con acero inoxidable y mortero polimérico base epoxi para conocer el comportamiento de la unión anclada.

En lo que respecta a los ensayos para evaluar la durabilidad de los adhesivos y del anclaje se realizaron ensayos de desgaste y de erosión de los adhesivos (tanto hidráulicos como poliméricos), de compatibilidad deformacional frente a gradientes térmicos y frente a ciclos de humedad – sequedad de los adhesivos con el sustrato rocoso, y ensayos acelerados de

ataque por agua salina sobre anclajes para determinar la degradación hidrolítica en materiales no metálicos y corrosión en materiales metálicos.

## **INTRODUCCIÓN**

Los resultados que se presentan son parte de unos trabajos más generales denominados “Estudios sobre la viabilidad técnica de la reconstrucción de la Isla Horadada en la bahía de Santander”. A modo de resumen cabe apuntar que se prepararon un total de 81 probetas prismáticas para la ejecución de ensayos de flexión, compresión con determinación del módulo de elasticidad y del coeficiente de poisson, ensayos de desgaste y ensayos de erosión; 7 probetas cilíndricas para la ejecución de ensayos de tracción indirecta; 26 probetas para ensayos acelerados de ataque por agua salina sobre anclajes de acero inoxidable y superinoxidable parcial y totalmente embebidos en morteros poliméricos y cementicios; 6 anclajes de acero inoxidable y superinoxidable en piedra caliza para la ejecución de los ensayos de tracción estática y fatiga; 12 calizas impregnadas superficialmente con morteros cementicios y poliméricos para ensayos de compatibilidad deformacional frente a gradientes térmicos y de comportamiento frente a ciclos de humedad – sequedad; 4 probetas para determinar la tensión de adherencia a cortante entre la piedra caliza y el mortero polimérico empleado para el anclaje; y 6 prismas de roca natural armados con acero inoxidable y mortero polimérico base epoxi para evaluar el comportamiento de la unión anclada frente a mecanismos de flexión.

Dichos ensayos fueron diseñados y ejecutados en la Universidad de Cantabria por el Grupo de Tecnología de la Edificación y por el Laboratorio de la División de Ciencia e Ingeniería de los materiales. En lo que sigue se relacionan las metodologías empleadas y los principales resultados alcanzados en esta investigación.

## **CAMPAÑA EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS ADHESIVOS.**

Dichos ensayos tenían como objetivo el evaluar la capacidad mecánica de los posibles adhesivos, tanto poliméricos como cementicios, a emplear durante las tareas de reconstrucción y las propiedades mecánicas de los mismos, pues constituyen parámetros de entrada necesarios para el diseño de la reconstrucción.

*Resistencia a flexotracción y compresión.*

Para la realización de los ensayos se han empleado dos prensas con control electrónico tanto de la carga, como de la velocidad de aplicación de la misma, así como los útiles auxiliares necesarios para los ensayos de flexotracción y de compresión.

Se han ensayado probetas prismáticas normalizadas de 40 x 40 x 160 mm, de forma que como producto residual del ensayo de flexión (rotura de la probeta por la sección de aplicación de la carga) se obtienen dos probetas, la mitad de las cuáles, en general, se emplean para la ejecución del ensayo de compresión y las restantes para determinar el módulo de Elasticidad y coeficiente de Poisson (expuestos en un apartado posterior).



**Figuras 1:** Probeta de resina tras el ensayo de flexión.

**Figuras 2:** Probeta de mortero polimérico durante el ensayo a compresión.

Sobre los adhesivos (resinas epoxi, morteros poliméricos y cementicios, de diferente dosificación y tamaño de árido), suministrados por dos casas comerciales, se realizaron varias campañas de ensayos, de forma que fue optimizándose las características mecánicas ofrecidas por los materiales, en función de los resultados obtenidos, a su posible futuro uso (ver tabla 1).

#### *Ensayos de tracción indirecta, “Brasileño”.*

El ensayo de tracción directa es muy difícil de realizar por dificultad de obtención de probetas adecuadas. Una forma de obtener la resistencia a tracción es empleando el método indirecto denominado comúnmente Ensayo Brasileño, que consiste en comprimir una probeta cilíndrica entre dos generatrices paralelas.

En probetas de base cementicia la tensión de tracción rondó los 4 MPa. Por su parte, en probetas con aglomerante a base de resina epoxi la tensión de tracción lógicamente fue mayor alcanzando valores de 12 a 18 MPa en función de la existencia o no de árido, su tamaño y proporción.

### *Ensayos para determinar el Módulo de Elasticidad y el Coeficiente de Poisson.*

Con la finalidad de obtener las propiedades mecánicas (módulo de Elasticidad y Coeficiente de Poisson) de los materiales de anclaje (resinas epoxi, morteros poliméricos con base epoxi y morteros cementicios), se han realizado una serie de ensayos a compresión con registro de la carga y de la deformación vertical y horizontal de las probetas ensayadas.

En la página siguiente, se muestran (tabla 1) los valores medios de la carga a flexión (toneladas) y la resistencia a compresión (en  $\text{kp/cm}^2$ ) obtenidos en los ensayos relacionados con anterioridad (entre paréntesis se anota la edad de las probetas en el momento de rotura), así como para cada uno de los materiales ensayados el valor medio del Módulo de Elasticidad y del Coeficiente de Poisson.

De dichas campañas experimentales se dedujo que el mortero polimérico epoxi más adecuado fue el denominado como Mort. Pol-1 de la serie 2 de la casa comercial A, pues daba valores resistentes más elevados ( $1.339,55 \text{ kp/cm}^2$  de resistencia media a compresión y 15,50 t de carga media de rotura a flexión) manteniendo a la vez un valor elevado del módulo de elasticidad ( $124.034,00 \text{ kp/cm}^2$ ).

### **CAMPAÑA EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL SISTEMA PIEDRA-ADHESIVO-ACERO.**

En este apartado se refieren otros ensayos realizados para la obtención de parámetros mecánicos del sistema piedra-adhesivo-acero por tratarse de información necesaria para la fase de diseño de la reconstrucción.

En este sentido, fundamentalmente, se trató de evaluar la capacidad mecánica de los anclajes, frente a esfuerzos de fatiga (debido a la carga periódica variable que supone el oleaje para la estructura pétreo) y frente a esfuerzos estáticos (teniendo en cuenta la influencia de la existencia de agua de mar en el correcto anclaje caso de emplear morteros poliméricos para dicha finalidad). Finalmente, se han ensayado frente a mecanismos de flexión prismas de roca de caliza natural, similar a la de la “Isla Horadada”, para posteriormente repetir los mismos ensayos tras incorporar refuerzos tanto a flexión, a base de armado longitudinal, como inyecciones armadas para reforzar la estructura pétreo frente a mecanismos de cortante.

**Tabla 1:** Valores medios de la carga a flexión (toneladas), de la resistencia a compresión (en  $\text{kp/cm}^2$ ), del Módulo de Elasticidad y del Coeficiente de Poisson.

CASA COMERCIAL	MATERIAL	$P_n$ (t)	$\sigma_c$ ( $\text{kp/cm}^2$ )	E ( $\text{kp/cm}^2$ )	Poisson
A Serie 1	Res. Epoxy A	1,31 (28 d)	304,47 (28 d)	---	---
	Mort. Pol-1A	1,69 (28 d)	454,81 (28 d)	---	---
	Mort. Pol-2A	1,60 (28 d)	487,36 (28 d)	---	---
A Serie 2	Res. Epoxy A	4,90 (13 d)	1.147,35 (13 d)	40.286,50	0,49
	Mort. Pol-1A	15,50 (13 d)	1.339,55 (13 d)	124.034,00	0,34
	Mort. Pol-2A	14,98 (13 d)	1.223,51 (13 d)	108.063,50	0,29
A Serie 3	Res. Epoxy A	3,53 (8 d)	902,46 (8 d)	27.451,50	0,46
	Mort. Pol-1A	1,80 (8 d)	1.115,38 (8 d)	96.227,50	0,32
B	Res. Epoxy B	1,55 (> 150 d)	1.043,40 (> 150 d)	33.380,00	0,49
	Mort. Pol-1B	1,78 (> 150 d)	1.267,16 (> 150 d)	119.031,25	0,30
	Mort. Pol-2B	1,53 (> 150 d)	1.255,46 (> 150 d)	155.020,00	0,24
	Mort. Pol-3B	1,35 (1 mes)	938,95 (1 mes)	206.603,50	0,24
	Mort. Pol-4B	1,18 (1 mes)	1.045,09 (1 mes)	191.478,50	0,16
	Mort. Cem-1B	0,35 (> 150 d)	621,49 (> 150 d)	---	---
	Mort. Cem-2B	0,55 (> 150 d)	717,29 (> 150 d)	449.194,50	0,32
	Mort. Cem-3B	0,45 (> 150 d)	623,49 (> 150 d)	261.410,00	0,31

**Casa comercial A:**

- **Res. Epoxy A:** Resina epoxi-amina 100%.
- **Mort. Pol-1A:** Mortero polimérico base epoxi, con una parte en peso de resina epoxi-amina 100% y 2 partes de árido de sílice.
- **Mort. Pol-2A:** Mortero polimérico base epoxi, con una parte en peso de resina epoxi-amina 100% y 2,5 partes de árido de sílice.

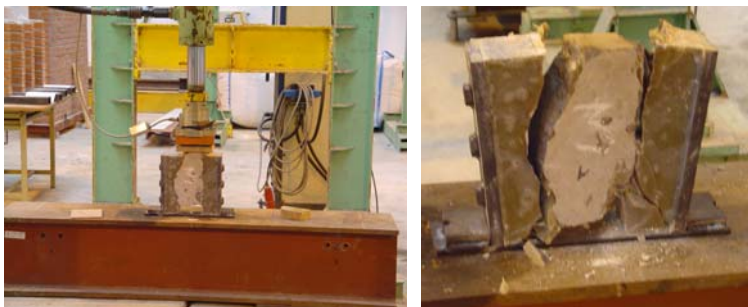
**Casa comercial B:**

- **Res. Epoxy B:** Probeta prismática de Apogel (Resina)
- **Mort. Pol-1B:** Mortero polimérico base epoxi y endurecedor amínico, con árido silíceo. Se suministra predosificado bajo denominación comercial.
- **Mort. Pol-2B:** Mortero polimérico base epoxi, compuesto por 2 partes en peso de Mort. Pol-1B y una parte en peso de árido silíceo de tamaño 1-2 mm.
- **Mort. Pol-3B:** Mortero polimérico base epoxi, compuesto por 1 parte en peso de Mort. Pol-1B y dos partes en peso de árido silíceo de tamaño 1-2 mm.
- **Mort. Pol-4B:** Mortero polimérico base epoxi, compuesto por 2 partes en peso de Mort. Pol-1B y una parte en peso de árido silíceo de tamaño 6-15 mm.
- **Mort. Cem-1B:** mortero cementoso fluido, sin retracción, de árido silíceo fino, densidad aprox.  $2,3 \text{ g/cm}^3$ .
- **Mort. Cem-2B:** mortero cementoso fluido, sin retracción, de árido silíceo más grueso, densidad aprox.  $2,3 \text{ g/cm}^3$ .
- **Mort. Cem-3B:** hormigón cementoso, sin retracción, constituido por Mort. Cem-1B y árido silíceo (6-15 mm), densidad aprox.  $2,4 \text{ g/cm}^3$ .

*Ensayos para obtener la tensión de adherencia a cortante entre la piedra caliza y el mortero polimérico empleado para el anclaje.*

La finalidad del ensayo es obtener la tensión de adherencia a cortante del mortero polimérico escogido en el apartado anterior, con el sustrato pétreo natural existente, con el objetivo de comprobar que la tensión adherente última a cortante es suficiente para que la unión a materializar en obra, mediante la disposición de un mortero polimérico entre las diferentes piedras, es superior a la tensión de diseño asociada al esfuerzo cortante en cada una de las interfases de unión.

Para ello, se fabricaron un total de cuatro probetas (ver figuras 3 y 4) en las que entre dos placas de acero, con unos tornillos añadidos para garantizar el anclaje entre el mortero polimérico y los mismos procurando que la unión fallase en la interfase mortero polimérico – piedra natural, se ubicó la piedra con un acabado similar al localizado en obra.



**Figuras 3:** Detalle de una de las probetas durante el ensayo.

**Figuras 4:** Aspecto del fallo por la interfase piedra - adhesivo.

El valor obtenido de la tensión de adherencia a cortante piedra – mortero polimérico fue del orden de los 90 kp/cm<sup>2</sup>.

*Ensayos de fatiga a tracción de anclajes.*

Los ensayos de fatiga a tracción sometiendo las probetas a ciclos escalonados LOCATI, con estados tensionales propios asociados a las condiciones de oleaje imperantes, se realizaron sobre probetas prismáticas (Figura 5) con anclajes longitudinales de distintas calidades de aceros (inoxidables y superinoxidables) y diferentes tipos de adhesivos (morteros poliméricos base epoxi e hidráulicos).

El ensayo consistió en la aplicación de una serie de escalones manteniendo en todos ellos una carga mínima de 5 kN y cada uno de ellos de 50000

ciclos hasta la rotura del anclaje. Por otra parte, por tratarse, en el caso del mortero polimérico, de un material susceptible de sufrir deformaciones térmicas debidas a la energía acumulada en cada uno de los ciclos de fatiga del programa LOCATI, la frecuencia de aplicación de las mismas ha sido lo suficientemente lenta (5 Hz) como para asegurar la disipación de calor al ambiente y así poder despreciar la deformación térmica.



**Figuras 5:** Instante durante uno de los ensayos de fatiga. Se empleó una máquina servohidráulica de tracción de 100 kN de carga máxima.

**Figuras 6:** Rotura estática del anclaje. Se produce por fallo de adherencia entre la piedra y el mortero polimérico.

La carga máxima alcanzada en el ensayo de fatiga es, en todos los casos, muy superior a la derivada del máximo esfuerzo de tracción motivado en el acero bajo la acción en servicio del oleaje. A su vez, hay que destacar que en todos los casos el fallo por fatiga a tracción ha tenido lugar en la barra de acero o en la soldadura, y para cargas muy superiores a las que se pretendía analizar en el material de sujeción.

#### *Ensayos de tracción para evaluar la efectividad del anclaje.*

En este epígrafe se trata de evaluar, frente a esfuerzos estáticos, la efectividad del anclaje de acero adherido al sustrato pétreo existente con el mortero polimérico base epoxi (Figura 6), así como la influencia de la existencia de agua de mar en la perforación realizada. Para comunicar el tiro de tracción al anclaje se ha empleado un gato hueco.

Para el cálculo de la tensión de adherencia movilizada en el anclaje, se ha considerado una distribución media de la misma. En este sentido, el anclaje que previamente a su ejecución se había saturado mediante agua de mar, ha presentado peor comportamiento, adherencia de  $46,49 \text{ kp/cm}^2$ , que el ensayado en seco en el que la tensión obtenida fue de  $78,50 \text{ kp/cm}^2$ .

*Ensayos a flexión y corte de prismas pétreos de roca natural previamente y con posterioridad a ser reforzados con acero inoxidable y mortero polimérico base epoxi.*

En primer lugar se procedió a realizar ensayos de flexión, sobre un total de 6 prismas de caliza de la misma formación geológica que la existente en la estructura pétreo susceptible de estudio. Se trató de obtener la carga de rotura a flexión y a cortante, si bien dada la reducida longitud de las probetas proporcionadas la previsión del colapso asociado a cada caso de carga fue complicado.



**Figuras 7:** Ensayo a flexión de una probeta de roca caliza.

**Figuras 8:** Enhebrado y colado del adhesivo.

**Figuras 9:** Detalle de las inyecciones armadas realizadas.

Una vez obtenida la carga de rotura para cada uno de los prismas se procedió a materializar el refuerzo de los mismos mediante armado longitudinal, frente a esfuerzos de flexión, y transversal, frente a esfuerzos de cortante, de acero inoxidable embebido en adhesivo polimérico. Para ello fue necesario perforar las rocas, enhebrar el acero de refuerzo longitudinal y con posterioridad colar el adhesivo garantizando, dada su viscosidad, un sellado adecuado para evitar su escape.

Una vez materializados los refuerzos longitudinales frente a flexión, se acometieron, en las probetas que procedían, los trabajos necesarios para disponer el armado transversal frente a cortante mediante inyecciones armadas de acero inoxidable y mortero polimérico. Dichas perforaciones, inclinadas 45°, tienen como finalidad coser las grietas de cortante (aproximadamente perpendiculares a la disposición del armado) que nacen de los apoyos.

Finalmente, se procedió a realizar en cada una de las probetas el mismo ensayo que se había realizado previamente, con la finalidad de comprobar la

optimización conseguida mediante el refuerzo de las piedras con barras de acero.



**Figuras 10 y 11:** Detalles de la rotura a flexión con armado longitudinal en la cabeza de tracción y armado transversal frente a esfuerzos cortantes (izquierda); y con armado longitudinal tanto en la cabeza de tracción como en la de compresión, sin armado frente a cortante (derecha).

En general, las roturas tras la realización de los refuerzos se producen por fallo de adherencia en el anclaje. Se comprueba la efectividad del armado transversal a base de inyecciones armadas, ya que ninguna de las probetas con armado transversal sufrió la rotura a cortante.

Desechando los resultados de una probeta, en la que se verificó poca efectividad en el pegado de las dos mitades, el factor incremental medio de la carga de rotura obtenido fue de 3,75.

## **CAMPAÑA EXPERIMENTAL PARA EVALUAR LA DURABILIDAD DE LOS MATERIALES ADHESIVOS.**

### *Ensayos de desgaste de los adhesivos*

Su finalidad es la comparación entre el comportamiento de morteros de reparación hidráulicos y poliméricos, susceptibles de ser empleados como adhesivos, frente al desgaste en desbastadora normalizada de pavimentos. El ensayo se realiza desgastando la cara vista de las probetas con un material abrasivo bajo condiciones normalizadas (corindón con tamaño de grano F80).

En general, la resistencia a la abrasión de la resina pura es la mejor de todos los materiales adhesivos analizados y la del mortero cementicio con árido grueso la menor.

### *Ensayos de erosión de los adhesivos*

En este caso, la finalidad es evaluar el comportamiento de morteros de reparación, tanto hidráulicos como poliméricos, sometidos a la acción de chorros de agua a presión moderada con inclusión de partículas abrasivas, para simular la futura erosión de estos materiales asociados con la acción del agua de mar (son partículas de arena en suspensión). Para ello, se planteó la aplicación de un chorro de agua y abrasivo, a una presión de 5 bar, aplicada durante 1 minuto, incidiendo directamente sobre la muestra. Para cuantificar el efecto se valoró el volumen perdido por cada probeta tras la aplicación de un chorro de agua con árido abrasivo.

En general, la resistencia a la erosión de la resina pura es la mejor de todos los materiales adhesivos analizados, pues era el material que menos volumen perdía al someterle a la erosión referida, y la del mortero cementicio con árido grueso la menor.

### **CAMPAÑA EXPERIMENTAL PARA EVALUAR LA DURABILIDAD DEL SUBSISTEMA ADHESIVO-ROCA CALIZA.**

#### *Ensayos de compatibilidad deformacional frente a gradientes térmicos de los adhesivos con el sustrato rocoso.*

Con el fin de evaluar la compatibilidad entre los adhesivos (resinas, morteros poliméricos y cementicios) y las piedras, se optó por la realización de ensayos de compatibilidad deformacional ejecutando un programa de 20 ciclos de frío – calor, en cada uno de los cuales se sometían las muestras a un programa de gradientes térmicos que consistieron, en primer lugar, en 12 horas a temperatura de -5°C en congelador y, en segundo lugar, otras 12 horas a 60°C en estufa.

No existe pérdida de adherencia ni se detecta disgregación en ninguno de los casos.

#### *Ensayos de compatibilidad deformacional frente a ciclos de humedad – sequedad de los adhesivos con el sustrato rocoso.*

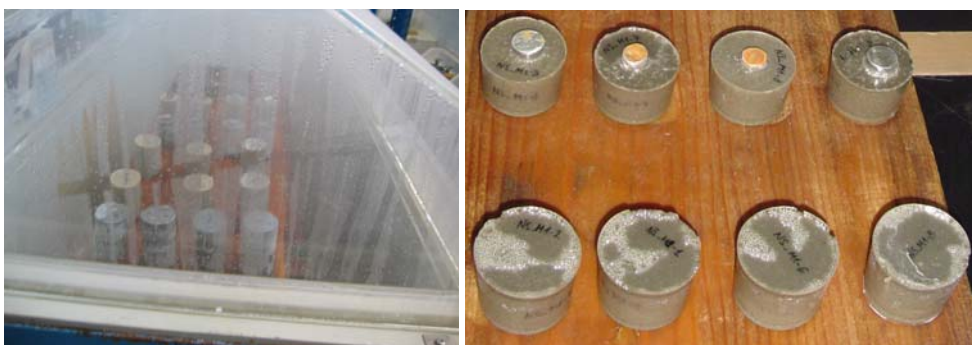
En estos ensayos, las muestras se introducen en una estufa calefactora a una temperatura de 105 °C durante 16 horas y a continuación se sumergen en agua durante 8 horas. Este proceso se repite 20 veces, permitiendo determinar los posibles comportamientos diferenciales entre los distintos materiales impregnados y la roca sobre la que se han aplicado.

No se aprecia incompatibilidad entre los adhesivos y las piedras ya que no existe pérdida de adherencia, ni disgregaciones, en ninguno de los casos.

### **CAMPAÑA EXPERIMENTAL PARA EVALUAR LA DURABILIDAD DEL SUBSISTEMA ADHESIVO-ACERO INOXIDABLE O SUPERINOXIDABLE.**

*Ensayos acelerados de ataque por agua salina sobre anclajes.*

El objetivo de estos ensayos es evaluar el comportamiento de diferentes anclajes frente a ensayos normalizados de corrosión acelerada en cámara de niebla salina de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 9227. El fundamento del ensayo consiste en pulverizar, de forma continuada, las probetas con una disolución salina de agua destilada o desionizada con una concentración de NaCl de  $50 \text{ gr/l} \pm 5 \text{ gr/l}$ , cuyo pH debe estar comprendido entre 6.0 y 7.0.



**Figura 12:** Cámara de niebla salina para ensayos de corrosión acelerada y probetas durante el ensayo.

**Figura 13:** Aspecto de varias probetas después de la finalización del ensayo.

En lo relativo a los ensayos de corrosión acelerada, se han estudiado los 2 tipos distintos de acero (inoxidable y superinoxidable) en muestras de aprox. 2 cm de longitud, completamente y parcialmente embebidas en los morteros poliméricos y cementicios.

Con respecto a los análisis realizados a la finalización de los ensayos de corrosión acelerada (después de 1000 horas), se destaca el mejor comportamiento del acero superinoxidable frente al inoxidable, como cabía esperar. No se apreció degradación hidrolítica en los materiales no metálicos.

## **CONCLUSIONES**

En lo que respecta al comportamiento mecánico de los materiales adhesivos, se ha demostrado que el material más adecuado es un mortero polimérico base epoxi. En relación al comportamiento a flexión de la unión anclada, prismas pétreos de roca natural reforzados con acero inoxidable y mortero polimérico, la carga de rotura tras la introducción del refuerzo experimenta un incremento medio de 3.75 respecto de la carga obtenida sin armado.

Los ensayos de fatiga de anclajes han demostrado que, tanto el mortero polimérico como el mortero cementicio, como elementos de sujeción, superan ampliamente las cargas pésimas calculadas para las condiciones de oleaje reinantes en la ubicación donde prestarían servicio.

En cuanto a los ensayos acelerados de ataque por agua salina, los morteros de carácter cementicio permiten el acceso de agentes corrosivos al interior del material, afectando al refuerzo de acero, siendo su efecto corrosivo más notable sobre los aceros inoxidables en relación a los aceros superinoxidables.

## **RECONOCIMIENTO**

Los autores de este artículo técnico desean agradecer al Excmo. Ayuntamiento de Santander el habernos confiado los “Estudios sobre la viabilidad técnica de la reconstrucción de la Isla Horadada en la bahía de Santander”, de los cuáles se han recogido los resultados y las figuras que ilustran el presente artículo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. J. Pérez y A. Ruiz, *Anales Ing. Mec.*, 14 (2), (2002) p. 1210.
2. W. E. Dean, “*Machining*”, Marcel Dekker, Nueva York, 1998.
3. M. R. Bowditch, D. Hiscock, A. D. Moth, *Int. J. Adhesion Adhesives*, 12 (3), (1992) p.164.
4. O. B. Isgor, A. G. Razaqpur, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33 (6), (2006) p.707.
5. J. C. Suárez, S. de Miguel, I. Díez de Ulzurrun, P. Pinilla, M. A. Herreros, F. López, *Anales de Mecánica de la Fractura*, 21 (2004) p. 350.