

Sistema prefabricado de aislamiento térmico exterior de envolventes con prestaciones fotocatalíticas: ETIXc

Rafael Jurado y Raúl Crespo. *FYM-Heidelberg Cement Group.*

Luis Ruano. *PREHORQUI, S.A.*

El objetivo principal del proyecto ETIXc es el desarrollo de un sistema de aislamiento térmico de envolventes por su exterior, prefabricado, compacto, con acción fotocatalítica, de instalación sencilla, económica y fiable.

Este nuevo tipo de fachadas (ligeras), a diferencia de las tradicionales (que son pesadas), están diseñadas para la rehabilitación y mejora energética de edificios, aunque su versatilidad permite el uso en edificios de nueva construcción con las mismas ventajas adicionales.

El sistema ETIXc contribuye a la mejora de la eficiencia energética del edificio, a la mejora del confort interior de los usuarios, a la mejora de la calidad del aire exterior y a la reducción de los costes de operación del edificio a lo largo de su vida útil.

El proyecto ETIXc se ha llevado a cabo gracias a la creación del consorcio FYM-PREHORQUI, S.A. y con la colaboración de TECNALIA.

Como consecuencia del desarrollo del proyecto, FYM ha adaptado y testado una creativa solución constructiva con un nuevo mortero (UHPM - Ultra High Performance Mortar) de muy altas prestaciones mecánicas, estéticas y medio ambientales: i.active EFFIX ARCA. Se trata de un producto destinado, principalmente, a la producción de todo tipo de piezas para fines no estructurales, como por ejemplo paneles laminares de fachada.

Los morteros de altísimas prestaciones son uno de los desarrollos más recientes en tecnología aplicada del cemento y se caracterizan sus sorprendentes propiedades

■ **Tabla 1. Características del producto.**

Características del producto	
Color	Blanco
Fibras utilizadas	Orgánicas
Relación agua/premezclado	0,12 en peso
Características del mortero fresco	
Consistencia	Autocompactante
Escurecimiento medido en minicono ASTM a 20 °C	Entre 260 y 360 mm
Trabajabilidad (temperatura entre 5 y 20 °C)	30 minutos
Características del mortero endurecido	
Densidad (UEN-EN 12350-6)	2.270 ±100 kg/m ³
Resistencia a Flexión (UNE-EN 196-1)	>10 MPa
Resistencia a Compresión (UNE-EN 196-1)	>115 MPa
Módulo de Young	>38 GPa

mecánicas más parecidas a las del acero que a las del hormigón convencional, concretamente por su comportamiento altamente dúctil al ser sometido a tensión. Se trata de un material que permite construir con secciones mucho más delgadas y formas más esbeltas, resultando además muy ligeras y sostenibles en comparación con el uso de un hormigón convencional, pues se consumen menor número de recursos naturales.

El producto i.active EFFIX ARCA reúne las mejores características mecánicas de un UHPM con prestaciones autolimpiantes y descontaminantes, convirtiéndose en un excelente aliado para mejorar la calidad de vida de nuestras ciudades.

El proyecto del desarrollo de esta solución constructiva ha sido posible gracias al Mecanismo Financiero del Espacio Económico Europeo o EEA Grants, que es la contribución de tres países: Noruega, Islandia y Liechtenstein, para reducir las desigualdades económicas y sociales y fortalecer la cooperación con los países beneficiarios (Bulgaria, Croacia, Chipre, España, Eslovaquia, Eslovenia, Estonia, Grecia, Hungría, Letonia, Lituania, Malta, Polonia, Portugal, República Checa y Rumanía). En España este Mecanismo está gestionado por el CDTI.

1. Diseño del sistema ETIXc

1.1 Desarrollo de la base de UHPM con principio fotocatalítico TX Active®

i.active EFFIX ARCA es el mortero utilizado para la fabricación de los paneles. i.active EFFIX ARCA es un producto bi-componente formado por un preparado en seco y fibras, listos para ser mezclados exclusivamente con agua.

Sus principales características son las que se muestran en la Tabla 1.

1.2 Diseño del aislamiento para el cumplimiento de las prestaciones térmicas del sistema ETIXc, mediante la simulación de su comportamiento térmico/energético

En la selección del material aislante, FYM trabajó de forma muy coordinada con TECNALIA, para seleccionar las prestacio-

■ **Tabla 2. Características del sistema ETIXc.**

	CLASE según EN 13165	NORMA ENSAYO	UNIDADES	VALORES ESPECIFICADOS
Coefficiente conductividad térmica	λ_i (7d 10° C)	EN 12667	W/m·K	0,022
Coefficiente conductividad térmica declarado	λ_D 10° C	EN 12667	W/m·K	0,028 (e<80 mm) 0,027 (80 mm≤e<120 mm) 0,026 (e≥120 mm)
Resistencia a compresión*	CS(10/Y)200	EN 826	kPa	250±50
Estabilidad dimensional 48h, 70 °C, 90 %HR	DS(70, 90)4	EN 1604	%	Δ long, Δ anch.<1 Δ esp.<4
Absorción de agua	T2	EN 823	mm	e<50±2 50<e<70±3 e<70+5,-2
Reacción al fuego. Euroclase	-	EN 13501-1	-	F
Reacción al fuego del producto en condición final de uso. Euroclase (únicamente para aplicación final cubierta "deck")	-	EN 15715	-	B-s2, d0 Montaje normalizado n.3

* Espesores inferiores a 45 mm, la clase de resistencias a la compresión corresponde a CS(10/Y)175.

■ **Tabla 3. Características térmicas.**

Espesor (mm)	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Resistencia térmica (m ² ·K/W)	0,85	1,05	1,40	1,75	2,10	2,50	2,95	3,30	3,70	4,05	4,60	5,00	5,35	5,75



nes térmicas de este aislamiento, y con PREHORQUI, S.A., para considerar las prestaciones mecánicas, teniendo en cuenta los requerimientos de la fabricación de los paneles, manipulación, transporte y puesta en obra.

TECNALIA cálculo las prestaciones térmicas que debía cumplir el aislamiento térmico, de acuerdo con la última modificación del Código Técnico Estructural (CTE), es decir, en función de un ahorro objetivo de demanda de energía y no como un valor de conductividad térmica del aislamiento.

El objetivo era diseñar un sistema que cumpliera con los requisitos del CTE, en toda España, para una fachada a rehabilitar construida según los estándares que se utilizaban antes de la aparición del Código Técnico de la Edificación.

Evidentemente, ese objetivo de ahorro está finalmente ligado al comportamiento térmico del sistema global y ésta principalmente relacionado con la conductividad térmica y espesor del aislamiento utilizado, así como con los puentes térmicos que presente el sistema.

La búsqueda del aislamiento se centró, primeramente, en establecer una clasificación de precios/conductividad térmica de los materiales disponibles. Se valoraron distintas alternativas y finalmente se eligió el panel PIR VV como aislante del sistema por

su buen comportamiento en los ensayos de ensamble con el panel de mortero y sus prestaciones térmicas.

1.3 Desarrollo de las uniones entre paneles del sistema ETIXc y su fijación estructural a la envolvente existente a rehabilitar

Se estudiaron distintas variantes de unión de los paneles para que cumplieran los siguientes objetivos:

- Asegurar la estanqueidad de la fachada.
- Permitir un montaje ágil de esta.

Basándonos en la dilatada experiencia de PREHORQUI, S.A. en el montaje de fachadas, se decidió que la solución más segura era el sellado de los paneles mediante siliconas, masillas de poliuretano o materiales similares. PREHORQUI, S.A. recomendó la utilización de silicona, con imprimación y fondo de junta.

Esta solución admite cierta holgura en el montaje de los paneles, lo que facilita y agiliza el montaje de estos, siendo una solución rápida y fiable tanto en la primera realización, como en el caso de ser necesario actuaciones de sellado posterior.

En lo relativo al sistema de fijación estructural (anclaje de los paneles a la fachada existente o a la estructura en construcción), el reducido peso de los paneles (frente a los tradicionalmente fabricados por PREHORQUI, S.A. en hormigón armado), facilita la reducción del número de anclajes, el tamaño de estos y simplifica la unión entre la capa de UHPM y su elemento de anclaje a la fachada.

Las altas prestaciones mecánicas y la fluidez de i.active EFFIX ARCA permiten una unión rápida, precisa y segura del agarre

de los anclajes a la capa del UHPM. Además su alta resistencia a flexión permite la fabricación de paneles esbeltos y de una longitud igual a la distancia entre forjados para su apoyo sea independiente del tipo y estado de la envolvente a rehabilitar.

Para el diseño de los anclajes de los paneles al edificio a rehabilitar se han tenido en cuenta varias premisas, además de los requerimientos mecánicos:

- Los anclajes serán puntuales, siendo el sistema más parecido al de los paneles de hormigón armado o GRC que al de una fachada ventilada, **evitando así el uso de subestructuras auxiliares.**
- **En la medida de lo posible, los anclajes se realizarán exclusivamente a la estructura principal del edificio, a los frentes de forjados,** dado que la geometría de los paneles admite una altura de planta a planta. De este modo se evitan anclajes a fábricas de ladrillo u otros cerramientos cuya resistencia desconocemos y que requerirían ensayos in-situ para validar las fijaciones a estas.
- Los anclajes deben permitir cierta holgura, para asumir variaciones de alineación y plomos que puedan tener las fachadas a rehabilitar.
- **El sistema debe diseñarse de forma que el equipo de montaje trabaje siempre desde el exterior del edificio.**
- Siempre se estudia el caso del panel que posea la carga más desfavorable, que después se extrapola al resto de las piezas. De esta forma, salvo casos concretos, el mismo anclaje sea válido para todos los paneles.

Partiendo de estas premisas y de la experiencia de PREHORQUI, S.A. en el diseño de anclajes se llegó al siguiente pre-diseño; dos anclajes en el canto superior de los paneles, que soportarán los esfuerzos verticales, debidos al peso propio de los paneles, y horizontales, debidos al empuje o succión del viento.

Como el montaje siempre se realiza de abajo hacia arriba, los montadores no tienen acceso a la parte inferior de los paneles para ejecutar un anclaje y se diseñó un sistema que permite transmitir el esfuerzo horizontal del panel superior al anclaje de carga del panel inferior ya montado. Para ello, se dejan embebidas un juego de pletinas en ambos paneles; De esta forma, una vez se encaja el panel superior, éste queda empresillado entre ambos juegos de pletinas.

Todos los anclajes llevan una protección galvanizada o zincada para asegurar su durabilidad.

2. Desarrollo de un prototipo preindustrial y su validación

2.1 Proceso fabricación del sistema ETIXc

1. Fase de moldes

La Oficina Técnica entrega los planos de fabricación al responsable de fábrica para que se empiecen a preparar los moldes. Cada

vez que se ejecuta un molde se comprueban las dimensiones largo por ancho y las diagonales.

2. Fase colocación de anclajes

Una vez ajustadas las medidas de las piezas a fabricar se procede a colocar los anclajes de montaje y los de manipulación sobre los laterales (costeros). Para ello los operarios se ayudan de tornillería y de diferentes útiles diseñados para ese fin.

3. Fase de mezclado

Los materiales necesarios para la fabricación de los paneles se pesan con anterioridad al comienzo del proceso.

La mezcla se realiza en el equipo de amasado conforme a las necesidades de energía necesarias para este producto de altísimas prestaciones y siguiendo la secuencia de amasado que se ha determinado como óptima y que permite obtener una mezcla homogénea.

■ Mezclado de los materiales.



4. Fase de Vertido y colocación de aislamiento

Verificada la homogeneidad de la mezcla se procede al vertido inmediato sobre los moldes. Previamente sobre la superficie de los mismos se ha aplicado un desencofrante de altas prestaciones, para garantizar un acabado superficial óptimo.

El vertido sobre cada molde se realiza desde uno de los extremos y dejando que el material se deslice por toda la superficie hasta rellenar todo el molde.

Una vez terminado el vertido se coloca el aislamiento térmico para que quede fijado con el mortero todavía fresco.

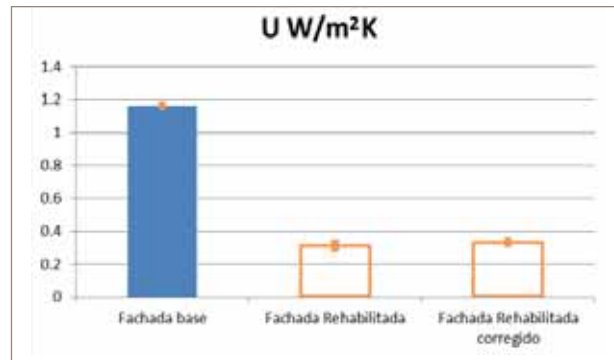
5. Fase de curado

Las piezas se dejan que vayan endureciendo y a las dos horas se tapan con una lámina de polietileno para favorecer el curado del panel.

■ Fase de vertido.



■ Colocación del aislamiento.



Cada panel es elevado y ubicado en su posición en la fachada, destacando la facilidad de su manejo y colocación, pudiendo ser realizado por un único operario, aunque preferiblemente se recomienda que la maniobra la realicen dos especialistas.

Es conveniente extremar las precauciones si existen rachas fuertes de aire, debido al comportamiento, por sus dimensiones, como vela del panel que podría poner en riesgo la seguridad de los operarios y la integridad de los propios paneles y de los elementos circundantes.

6. Fase de desmoldeo y acopio

Al día siguiente se desmontan los costeros y se procede al izado de los paneles para llevarlos a su lugar de acopio. Con anterioridad a la carga se les aplica el tratamiento superficial correspondiente, en el caso de los paneles para su instalación en el edificio Kubik de TECNALIA se optó por un acabado al chorro de arena.

2.2 Puesta en obra en KUBIK by TECNALIA

La puesta en obra del sistema ETIXc permitió verificar el proceso de montaje de los paneles sobre la fachada.

3. Campaña experimental en KUBIK by TECNALIA

3.1 Análisis de los datos experimentales

TECNALIA evaluó el comportamiento térmico real del prototipo instalado en Kubik, así como la estanqueidad del sistema.

Sistemas de manejo cemento

Los descargadores y cargadores sobre muelle Siwertell están diseñados para adaptarse a las necesidades específicas de cada terminal.

Los sistemas Siwertell utilizan tecnología de transportador totalmente cerrado para asegurar que las operaciones de carga y descarga protejan el ambiente y sean eficientes.



Esta campaña de mediciones reales se llevó a cabo con la instalación de una amplia variedad de sensores (sensores de flujo de calor; de temperatura superficial; de humedad relativa; de presencia de agua y de temperatura del aire en el interior de la habitación) instalados en el interior y en la fachada del Kubik.

El nivel de transmitancia térmica global obtenido puede considerarse muy satisfactorio, considerando que esto permitiría reconvertir las envolventes del parque edificado actual a niveles prestacionales compatibles con las exigencias normativas modernas.

Tras la experimentación a escala real de una intervención de rehabilitación de fachada mediante el sistema ETIXc, se ha concluido que:

- **El uso del sistema ETIXc reduce más del 70% la transmitancia térmica de la fachada sustancialmente. En el caso de una fachada con una transmitancia térmica de 1,16 W/m² K, ésta se reduce hasta niveles de 0,31-0,33 W/m² K.**
- La resistencia térmica superficie-superficie del sistema ETIXc se encuentra en el entorno de 2 m² K/W, siendo el valor de diseño de 2,68 m² K/W.

Además, su adaptación a niveles prestacionales futuros podría realizarse incrementando el espesor de aislamiento, partiendo de un sistema en el que los elementos de anclaje y los sistemas de junta se consideran adecuados.

3.2 Casos de estudio: rehabilitación de la fachada de un edificio con el sistema ETIXc

Se ha realizado un análisis para conocer el ahorro de energía obtenido en la rehabilitación de la fachada de un edificio residencial con el sistema ETIXc. Para ello, se ha estimado la demanda de calefacción y refrigeración del edificio antes y después de la rehabilitación. En base a las demandas citadas, se ha calculado el ahorro de energía que se consigue tras la rehabilitación de la fachada del edificio de viviendas existente con el sistema ETIXc.

Mediante un método de cálculo simplificado, se ha evaluado las necesidades de calor y energía necesaria para la calefacción de un edificio residencial, según la norma europea UNE-EN 832. Este método está basado en un balance energético en régimen estacionario pero teniendo en cuenta las variaciones de las temperaturas interior y exterior, así como el efecto dinámico de las ganancias internas y solares, considerando una zona térmica por planta.

Se ha modelizado un edificio de viviendas de 5 plantas, cada una de ellas con una superficie de 144 m² y una transmitancia térmica de la fachada a rehabilitar igual a 1,16 W/m² K.

Se han seleccionado ciudades con diferente clima con el fin de valorar el impacto de la localización geográfica en el resultado del estudio. Las localizaciones seleccionadas son las siguientes: Madrid, Santander y Barcelona.

De acuerdo con los análisis realizados, el sistema ETIXc presenta en términos generales altos potenciales de ahorro de energía, destacando en aquellas situaciones de partida en la que existe un predominio de la demanda de energía para calefacción.

En la Tabla 4 presenta, para las 3 ciudades analizadas, los datos siguientes: la demanda anual de energía total (calefacción + refrigeración), los ahorros absolutos y porcentuales de demanda anual de energía total (calefacción + refrigeración).

Cabe destacar que la situación inicial, en cuanto al nivel de aislamiento de la fachada a rehabilitar, tiene una influencia clara en el resultado del ahorro final. Es decir, una fachada con muy bajo nivel de aislamiento tienen un mayor potencial de ahorro de energía cuando se usa el sistema ETIXc.

4. Conclusiones

La colaboración entre FYM y PREHORQUI S.A. ha fortalecido la competitividad de ambas empresas a través de su participación en un proyecto de alto contenido tecnológico y de la transferencia de conocimientos entre ellas. Gracias a la participación y ejecución de este proyecto se ha desarrollado un nuevo sistema de aislamiento térmico de alto valor estético y medio ambiental, destinado a la rehabilitación energética de edificios.

Las prestaciones térmicas de ETIXc permiten un ahorro muy sustancial de la demanda energética en edificios existentes y una oportunidad de mejora en los de nueva construcción, sin renunciar a la estética, texturas y colores posibles en una fachada de hormigón visto. Esta estética se conserva durante más tiempo similar a la original gracias a su poder autolimpiante.

Su capacidad descontaminante mejora la calidad del aire en nuestras ciudades y nos permite respirar mejor.

■ **Tabla 4. Demanda anual de energía total, los ahorros absolutos y porcentuales de demanda anual de energía total.**

Ciudad	Demanda anual de energía total: calefacción + refrigeración (kWh/m ²)		Ahorro anual en la demanda de energía total tras la rehabilitación de la fachada	
	Antes de la rehabilitación	Después de la rehabilitación	kWh/m ²	Porcentaje
Sanatander	86,5	49,1	37,4	43,24
Barcelona	100,7	68,8	31,9	34,95
Madrid	133,9	87,1	46,1	34,95