1.- SECCIÓN PRINCIPAL

DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:

Celosía tubular cerámica colgante

DESCRIPCION DEL PROYECTO, OBJETIVO Y PRIORIDADES:

Faveton Terracota, S.L. (Faveton) desarrolla su actividad en el ámbito de la fabricación y venta de materiales cerámicos para la construcción.

Está especializada en el mundo del extrusionado y, preferentemente, en el mercado de la fachada ventilada, con el diseño y producción de productos cerámicos tanto para nuevas construcciones como para rehabilitaciones.

El principal objetivo del proyecto es establecer un sistema para economizar y facilitar la instalación de cerramientos de control solar en fachada mediante un sistema de lamas tubulares cerámicas colgadas. Los sistemas utilizados hasta la fecha se basan en elementos cerámicos básicos, instalados "in situ", mediante complicadas subestructuras de acero o aluminio que se anclan a la fachada. En el presente proyecto se pretende industrializar estos sistemas de modo que se cuelgue, a modo de cortina, un paño de estructura previamente montado. Este pre-montaje se realizará en las instalaciones que se habilitarán dentro de la fábrica de material cerámico, como uno más de sus procesos. Al simplificar la estructura soporte, el material cerámico básico que se instalaba anteriormente, pasa a cobrar una mayor importancia por tener que asumir parte de las características que ésta aportaba, imponiendo unos requisitos en el diseño mucho más estrictos. El nuevo diseño planteado supondrá una importante mejora en cuanto al coste económico de la fachada y una reducción de los tiempos de instalación in situ, además de disminuir los recursos necesarios para su fabricación y mejorar su reciclabilidad.

Se trata de un sistema colgante de cortina que combina soportes verticales flexibles a base de flejes o cables, que cuelgan de ménsulas de sustentación, con una fijación a las tubulares cerámicas mediante conectores con configuraciones dentadas. Los flejes y cables permiten su almacenamiento plegado en un palé durante el almacenamiento el transporte.

Se proponen dos variantes de este sistema de celosía de lamas cerámicas tubulares, con configuraciones de los tubos en vertical y en horizontal.

Faveton presenta este proyecto en colaboración con el Grupo de Investigación LITEIS perteneciente a la Escuela de Arquitectura de la Universidad Internacional de Cataluña (UIC Barcelona).

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

CONDICIONES ECONOMICAS MARCO – AYUDA UE

PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO	334.215 €
AYUDA U.E.	114.689 €

DURACIÓN DEL PROYECTO

Fecha inicio 01/01/23

Fecha finalización 31/12/24

ÁMBITO GEOGRÁFICO

Ctra. Herrera de los Navarros Km. 1,5.

50450, Muel, Zaragoza, España

LEMA:

EUROPA SE SIENTE

Cofinanciado por la Unión Europea

MINISTERIO DE HACIENDA

Fondos Europeos

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES

CDTI INNOVACIÓN

2.- SECCIÓN DE RESULTADOS

ACTIVIDAD 1 - DISEÑO Y DESARROLLO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Tarea 1.1 - Conexión del sistema colgado a la estructura soporte del edificio

El presente trabajo de investigación contribuye a la viabilidad de un sistema de CELOSÍA TUBULAR CERÁMICA COLGANTE para fachada, enfocándose a definir los principios de diseño del propio sistema constructivo en todas sus composiciones modulares, asegurando y potenciando sus ventajas estructurales y estéticas.

En esta tarea se analizarán las distintas posibilidades de elementos de fijación del sistema a la estructura soporte ya existente de la edificación a cubrir con dicho sistema cerámico. Así como sus propiedades y comportamiento.

Objetivo tarea 1.1

Se estudiarán los dos principales mecanismos que conectan la celosía de tubos con los cantos de los forjados estructurales: las ménsulas de sujeción, que soportarán su peso desde el forjado superior del edificio, y las ménsulas de retención a esfuerzos horizontales de presión o succión del viento, que se anclarán a los sucesivos cantos de forjado o a montantes o pletinas con rango estructural.

En base a las solicitaciones previstas, también será necesario calcular el número de estas ménsulas por metro lineal horizontal, en el caso de las de sujeción, y por metro lineal vertical en caso de las ménsulas de retención.

El estudio deberá tener en cuenta por un lado el mecanismo de fijación de los cables y flejes de la celosía a estas ménsulas, así como los anclajes mediante tacos químicos o mecánicos al canto de los forjados estructurales. Se contempla el compromiso entre su facilidad de colocación y su fiabilidad.

Se diseñarán prototipos para cada tipo de ménsula y se ensayarán en laboratorio para conocer sus capacidades mecánicas a cortante y flexión y su fiabilidad ante la acción de *pull out* o arrancamiento de los cables y flejes.

En esta tarea podemos encontrar como punto crítico el evitar que los mecanismos de fijación de los cables y flejes a las ménsulas resulten lentos de ejecución, poco manejables o inseguros para un operario que esté asomado trabajando desde una cesta de instalación.

Ubicación del trabajo

Las distintas fases del desarrollo se han llevado a cabo en varios emplazamientos. El diseño y validación estructural se han realizado en la Universidad Internacional de Cataluña, mientras que la fabricación de los componentes metálicos ha sido llevada a cabo en Metal Pintura. Los ensayos estructurales han sido realizados en la Escuela

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa, proporcionando datos clave para la mejora del sistema.

Desviaciones

A lo largo del desarrollo del proyecto, se han realizado algunas modificaciones respecto a lo planificado inicialmente. Se ha redefinido el diseño de las ménsulas para mejorar su integración con los elementos cerámicos y optimizar la transferencia de cargas. Asimismo, se ha sustituido el ensayo de arranque de las ménsulas por una prueba de flexión, considerando que esta simula una condición más desfavorable en caso de fallo estructural.

Otro cambio importante ha sido la selección final del sistema de anclaje, priorizando soluciones que combinan resistencia y facilidad de instalación. También se han ajustado las dimensiones de las pletinas y los perfiles de sujeción para mejorar la alineación del sistema y garantizar su estabilidad a largo plazo.

Si bien es cierto que no se ha efectuado un cálculo de estabilidad estática específico para conocer el reparto de las ménsulas de sustentación en horizontal y de las ménsulas de retención en vertical, puesto que no arrojaría un resultado aplicable a todos los casos o genérico. Puesto que cada localización, tipología de edificación y uso, materiales soporte, son variables que afectarían directamente a los resultados obtenidos. Este proceso debería llevarse a cabo para cada caso o proyecto concreto.

Tampoco se han efectuado ensayos a cortante o flexión de las ménsulas para conocer sus capacidades mecánicas. En primer lugar, porque el sistema colapsaría previamente en otros puntos críticos, por lo que carece de sentido, así mismo, las ménsulas empleadas, son objetos estandarizados cuyos valores pueden obtenerse sin necesidad de efectuar ningún cálculo.

Resultados y evidencias

Los ensayos realizados han confirmado la fiabilidad del sistema de fijación, asegurando que los nodos de sustentación y retención cumplen con los requisitos estructurales previstos. Se ha considerado que las ménsulas y pletinas de sustentación pueden soportar las cargas verticales sin deformaciones significativas, no obstante, se desconocía la deformación que podría sufrir el Porta-flejes, ya que este es el elemento del nodo de sustentación menos resistente y por lo tanto el punto crítico o más desfavorable. Para ello se ensayo este elemento en conjunto con el fleje a tracción. Rompiendo el fleje previa rotura del propio porta-flejes, aunque la deformación que mostraba ya era significativa. Soportando este conjunto una carga media máxima de 4.389 (KN).

Mientras que las ménsulas de retención se han ensayado y han mostrado una resistencia adecuada frente a cargas de viento y otros esfuerzos horizontales. En estos ensayos no se llega a la rotura, ya que la pieza retenedora queda completamente doblada. La deformación de la pieza se empieza a producir a los 10 – 15 (N) y se detuvo el ensayo al alcanzar los 550-700(N). De estos datos se concluye que, en caso de colapso del tramo

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

superior, estas ménsulas se deformarían, siendo capaces de soportar el peso de dicho tramo, actuando como elemento de seguridad añadida. No obstante, se plantea previsiblemente aumentar el espesor con el fin de facilitar su instalación y rendimiento.

Además, las pruebas han permitido optimizar los sistemas de anclaje, seleccionando aquellos que ofrecen mayor seguridad y facilidad de instalación. El uso de varillas roscadas y elementos de fijación mecánicos ha demostrado ser una solución eficiente para la transmisión de cargas dentro del sistema.

Conclusión

La tarea 1.1 ha permitido el desarrollo de un sistema de conexión eficiente y seguro para la celosía tubular cerámica colgante. A través de ensayos rigurosos y mejoras en el diseño, se ha logrado una solución que garantiza la estabilidad estructural del sistema y facilita su instalación en obra. Las optimizaciones realizadas en los nodos de sustentación y retención han permitido mejorar los procedimientos de instalación del conjunto, la resistencia y fiabilidad del sistema, asegurando su viabilidad técnica.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

Tarea 1.2 - Flejes y cables

El presente trabajo de investigación contribuye a la viabilidad de un sistema de CELOSÍA TUBULAR CERÁMICA COLGANTE para fachada, enfocándose a definir los principios de diseño del propio sistema constructivo en todas sus composiciones modulares, asegurando y potenciando sus ventajas estructurales y estéticas.

En este entregable se buscarán soluciones existentes en el mercado para flejes y cables. En caso de ser necesario el diseño de alguno de estos se procederá a investigar las mejores soluciones para dicha problemática.

Objetivo tarea 1.2

El objetivo general del presente documento es estudiar los materiales idóneos (preferentemente ferrosos templados o sin templar), los recubrimientos de protección (capas pasivadoras), las dimensiones óptimas (ancho y espesor en los flejes y diámetro en los cables) y los requisitos mecánicos y de envejecimiento que deben cumplir, que incluyen la relajación, fluencia o deformación plástica del material.

En el caso de los flejes, además se debe investigar el efecto del troquelado de su superficie (para recibir el anclaje del tubo) que reduce la sección a tracción, de manera que no se produzcan desgarros por el troquel cuando el fleje está en su máxima tensión de trabajo.

El diseño del troquel debe contemplar un mecanismo para facilitar la introducción del anclaje del tubo y dificultar su extracción accidental. Se diseñarán varios prototipos y se ensayarán en laboratorio para conocer su resistencia a tracción, comportamiento ante los choques térmicos y resistencia a la corrosión en cámaras de niebla salina para envejecimiento acelerado.

En esta tarea pueden existir los siguientes puntos críticos:

- Impedir la rotura o el desgarro del fleje en su zona troquelada ante grandes cargas de tracción.
- Facilitar una conexión segura entre la patilla del conector del tubo y el hueco troquelado del fleje.
- Evitar un anclaje deficiente del cable en sus extremos.

Ubicación del trabajo

Las diferentes fases del desarrollo se han realizado en distintos emplazamientos. La coordinación y fabricación de los elementos cerámicos se ha llevado a cabo en las instalaciones de Faveton en Muel, Zaragoza. El diseño y validación teórica del sistema se ha realizado en la Universidad Internacional de Cataluña, mientras que la fabricación de los componentes metálicos ha tenido lugar en las instalaciones de TyRsa en Barcelona. Por su parte, los cables y escaña-cables han sido producidos en Aragón, facilitando su

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

integración en el proceso general. Finalmente, los ensayos mecánicos y pruebas estructurales se han realizado en la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa.

Recursos empleados

El proyecto ha requerido una combinación de materiales, herramientas y recursos humanos altamente especializados. Los flejes metálicos se han fabricado en acero inoxidable con distintos espesores y troquelados, seleccionados tras una serie de pruebas de resistencia.

Los cables de acero han sido diseñados para soportar grandes esfuerzos sin comprometer la flexibilidad, asegurando una instalación eficiente. A diferencia de lo establecido en origen en la memoria inicial, no se ha considerado necesario emplear cámaras de niebla salina para ensayos de corrosión ya que, al tratarse de un producto de acero inoxidable, este valor es conocido. Si se han empleado máquinas de tracción para evaluar la resistencia mecánica.

Desde el punto de vista humano, el proyecto ha contado con la participación de ingenieros y arquitectos especializados en el diseño y cálculo de sistemas constructivos, técnicos en metalurgia y fabricación de componentes, así como investigadores en materiales de construcción. Esta combinación de conocimientos ha permitido garantizar la viabilidad técnica del sistema y optimizar su fabricación a nivel industrial.

Resultados y evidencias

Los ensayos realizados han confirmado la resistencia y estabilidad del sistema de celosía tubular cerámica colgante. En el caso de los flejes, se ha comprobado que pueden soportar cargas de hasta 4389,74(N) sin coeficiente de seguridad, permitiendo la instalación de hasta siete plantas de altura con coeficientes de seguridad adecuados. Los cables, por su parte, han mostrado un desempeño excelente, con una capacidad de carga muy superior a la requerida. Los escaña-cables seleccionados han demostrado ser la opción más fiable, permitiendo la sujeción segura de los elementos sin riesgo de deslizamiento o fallo estructural, con una resistencia máxima de 1102,27(N).

Uno de los aspectos más relevantes ha sido la optimización del sistema de fijación entre los flejes y los tubos cerámicos, logrando una alineación precisa y una distribución uniforme de las cargas. La eliminación de los remaches en favor de embuticiones ha permitido mejorar la resistencia y simplificar el proceso de fabricación, reduciendo costes y tiempos de producción. Asimismo, la validación estructural ha confirmado que el sistema puede soportar condiciones ambientales adversas, asegurando su durabilidad a largo plazo.

Desviaciones

A lo largo del desarrollo del proyecto, se han realizado algunos ajustes con respecto a la planificación inicial. En primer lugar, se decidió prescindir del uso de remaches en los flejes debido a su menor resistencia y mayor complejidad de fabricación. En su lugar, se

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

optó por embuticiones, lo que ha permitido mejorar la fiabilidad del sistema. También se realizaron modificaciones en la geometría de los huecos troquelados para facilitar la fijación de los clips y optimizar la distribución de los tubos cerámicos.

Otra desviación significativa ha sido la adaptación del diseño de los escaña-cables, seleccionando una opción con mayor capacidad de carga para aumentar la seguridad del sistema. Además, se detectó la necesidad de reforzar el porta-flejes para evitar deformaciones bajo carga, lo que llevó a un rediseño de este elemento. Estos cambios han permitido mejorar la eficiencia del sistema y garantizar su viabilidad técnica sin comprometer los objetivos originales del proyecto.

No se han efectuado comprobaciones del comportamiento de flejes frente al choque térmico ni su resistencia a la corrosión en cámaras de niebla salina. En el momento de la propuesta no estaba claro qué material sería el de los flejes y por ello, se previó la necesidad de caracterizar un comportamiento frente a corrosión. Durante la investigación ya se determinó que el material de los flejes sería de acero inoxidable con garantía de calidad bajo estándares europeos por parte del proveedor. En consecuencia, se decidió que la durabilidad fuera un requerimiento del material, no siendo necesario hacer una investigación particular sobre la naturaleza de un material tipo acero inoxidable que ya dispone de una protección con garantías frente a la corrosión.

Sobre el ensayo de choque térmico tiene sentido en materiales susceptibles como los compuestos o los plásticos reforzados, pero no tiene sentido con la elección del acero inoxidable ya que se conoce su deformabilidad frente a incrementos de temperatura, su fragilización para temperaturas criogénicas y su capacidad de pérdida resistente a altas temperaturas. En el caso de fachadas, los incrementos de temperatura se mueven en un rango limitado que no afecta a la resistencia, aunque sí a la potencial deformabilidad para longitudes relevantes de fleje. No obstante, dado que se conoce el coeficiente de dilatación térmico, se pueden calcular con precisión los cambios geométricos esperables y las redistribuciones correspondientes de tensión. Para temperaturas elevadas como un incendio se dispone del conocimiento acerca de la pérdida de capacidad portante del material en dicho rango de temperaturas.

Conclusión

El desarrollo de la tarea 1.2 ha sido un proceso de optimización continua, en el que cada fase ha contribuido a mejorar el diseño y la resistencia del sistema. A través de ensayos rigurosos y un enfoque basado en la industrialización, se ha logrado crear un sistema de celosía colgante con altos estándares de calidad y seguridad. Las modificaciones realizadas han permitido optimizar la producción y reducir costes, asegurando que el producto final sea viable tanto desde el punto de vista técnico como comercial.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

Tarea 1.3 - Elementos de conexión entre flejes, cables y elementos cerámicos

El presente trabajo de investigación contribuye a la viabilidad de un sistema de CELOSÍA TUBULAR CERÁMICA COLGANTE para fachada, enfocándose a definir los principios de diseño del propio sistema constructivo en todas sus composiciones modulares, asegurando y potenciando sus ventajas estructurales y estéticas.

En esta tarea se estudiarán específicamente los conectores entre fleje y piezas cerámicas para el sistema de celosía de lamas horizontales, así como los elementos de conexión entre distintos tramos de piezas cerámicas para el sistema de celosía de lamas verticales.

Objetivo tarea1.3

Se estudiarán los tipos de chapas, y geometrías, más idóneas y se probarán distintas configuraciones de troquelado arponado para hallar el equilibrio óptimo entre su fácil inserción a presión en el interior del tubo cerámico, y la fricción con el interior que evite su extracción accidental.

En el caso de la variante con tubos horizontales, se estudiará la patilla de anclaje que se introduce en la perforación troquelada en el fleje. En la variante de tubos verticales, se investigará un sistema de bisagra de estas chapas troqueladas para facilitar el pliegue y despliegue de los tubos, teniendo en consideración que estas acciones serán escasas en la vida útil del sistema (en principio sólo se pliegan los tubos para almacenamiento y transporte, y sólo se despliegan en su colocación en la fachada).

Estos mecanismos de conexión se ensayarán en laboratorio para conocer su resistencia mecánica, su comportamiento ante choques térmicos y bajo envejecimiento acelerado por corrosión en cámara de niebla salina.

En esta tarea pueden existir los siguientes puntos críticos:

- Los troqueles arponados de los conectores no serán excesivamente dificultosos para penetrar en los tubos, pero presentarán suficiente fricción dentro de estos para quedar bien fijados.

- Las chapas con bisagra para la opción de tubos verticales no penalizarán económicamente la solución.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

Ubicación del trabajo

Las diferentes fases del desarrollo han tenido lugar en diversas ubicaciones estratégicas para garantizar una coordinación eficiente. La fabricación y ensamblaje de los elementos cerámicos se ha llevado a cabo en las instalaciones de Faveton en Zaragoza, mientras que el diseño y validación estructural se han desarrollado en la Universidad Internacional de Cataluña en Barcelona. La producción de los conectores metálicos ha sido realizada en TyRsa, también en Barcelona, permitiendo una interacción ágil entre las distintas áreas del proyecto. Finalmente, las pruebas mecánicas, incluyendo ensayos de tracción se han realizado en la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa, proporcionando datos clave para la mejora y validación de los conectores.

Resultados y evidencias

Los ensayos finales han confirmado la eficacia del sistema de conexión, asegurando su viabilidad en condiciones de uso reales. En el caso de los clips de conexión, se ha verificado que pueden soportar una carga media de tracción y adherencia de hasta 118,73(N) antes de producirse el arrancamiento de las paredes de los tubos cerámicos, lo que garantiza una sujeción firme y estable.

La optimización de la alineación de los clips dentro del fleje ha permitido una mejor distribución de las cargas, favoreciendo la estética y el rendimiento estructural del sistema.

En cuanto a las bisagras, el rediseño final ha resultado en un componente robusto y funcional que permite el plegado sin afectar la resistencia estructural. Las pruebas de tracción y adherencia han demostrado que la solución adoptada para la unión de los tubos cerámicos mantiene la estabilidad del sistema, asegurando un montaje eficiente y una larga durabilidad en entornos exigentes.

Desviaciones respecto a la memoria inicial

Si bien el desarrollo de la tarea ha seguido la planificación general del proyecto, se han realizado algunos ajustes significativos respecto a lo previsto en la memoria inicial. Uno de los cambios más relevantes ha sido la optimización del diseño de los clips, con modificaciones en la geometría de las patillas para mejorar la adherencia y el montaje.

Ha sido necesario un rediseño de la bisagra, modificando su condición de arpón y tratando de asemejarla lo máximo posible al clip del sistema horizontal.

Al igual que en el caso de los flejes o elementos auxiliares no cerámicos, no se han efectuado comprobaciones del comportamiento de clips y bisagras frente al choque térmico ni su resistencia a la corrosión en cámaras de niebla salina. Durante la investigación se determinó que los conectores de chapa troquelada funcionaran como unos clips/pinzas de sujeción por fricción sobre las paredes de los tubos cerámicos. El material de dichos clips es acero inoxidable perfectamente caracterizado en su capacidad de resistencia de la corrosión y su comportamiento frente a temperaturas. Por lo tanto,

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

como en el caso de los flejes se desestimó la necesidad de realizar dichos ensayos a corrosión ya que no aportaban un valor en vías de desarrollo o investigación.

Conclusión

La tarea 1.3 ha permitido el desarrollo de un sistema de conexión seguro y eficiente, optimizado para la producción industrial y con un montaje simplificado en obra. A través de ensayos rigurosos y un proceso de mejora continua, se ha logrado garantizar que los conectores del sistema de celosía colgante sean resistentes, funcionales y fáciles de instalar.

Estos avances refuerzan la viabilidad del sistema y consolidan su potencial en el sector de las fachadas ventiladas, ofreciendo una solución innovadora que combina eficiencia estructural, facilidad de instalación y una estética cuidada.

Tarea 1.4 - Elementos cerámicos

El presente trabajo de investigación contribuye a la viabilidad de un sistema de CELOSÍA TUBULAR CERÁMICA COLGANTE para fachada, enfocándose a definir los principios de diseño del propio sistema constructivo en todas sus composiciones modulares, asegurando y potenciando sus ventajas estructurales y estéticas.

La búsqueda de distintos modelos de lamas cerámicas, así como el estudio de sus propiedades y geometrías será fundamental para analizar las distintas posibilidades técnicas y estéticas de cada tipo de celosía cerámica.

Objetivo tarea 1.4

El objetivo general del presente documento es la búsqueda del modelo cerámico idóneo, dado que sus características principales son: alta resistencia mecánica, incombustible, resistente a las heladas, resistente al paso del tiempo, autolimpieza con agua de lluvia, limpieza con agua a presión, sin costes de mantenimiento, y material 100% reciclable.

Se analizará el material cerámico idóneo, en cuanto a diferentes composiciones, y geometría (sección y longitud) de las lamas a elegir, ensayando sus propiedades mecánicas.

Resultados y Conclusión

La tarea 1.4 ha permitido definir el modelo cerámico más adecuado para el sistema de celosía colgante, asegurando su compatibilidad estructural y su eficiencia en términos de fabricación y mantenimiento. Mediante la selección del **modelo BRIOL 50**, se ha logrado una solución que combina resistencia, facilidad de producción y sostenibilidad. Los ensayos realizados han validado su desempeño mecánico, mientras que el plan de control de calidad garantiza su durabilidad en el tiempo.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

ACTIVIDAD 2. ENSAYOS DEL SISTEMA DE CELOSÍA EN ENTORNO REAL

En esta actividad, una vez finalizado el diseño de todos los elementos del sistema como resultado de la actividad 1, se validará el sistema completo construyendo un prototipo en entorno real. Se estudiarán todos los procesos involucrados en el ciclo de vida del producto:

- Fabricación, integración de elementos para formar el sistema completo.
- Transporte, plegado y desplegado de la celosía.
- Instalación sobre fachada, velocidad de ejecución.
- Operaciones sobre sistema en uso, acciones de reparación y cambio de componentes.

Todas las tareas de esta actividad se desarrollarán en las instalaciones de la empresa, con la colaboración de una empresa externa para la instalación de los paños.

Tarea 2.1. Fabricación del prototipo

En esta tarea se estudiará y diseñará el proceso de fabricación del sistema de celosía completo. Este proceso incluirá la fabricación de los elementos cerámicos, la integración con el resto de elementos auxiliares, para llegar a completar el proceso de industrialización de todo el sistema de celosía, quedando listo para su almacenamiento o transporte. En esta fase se podrán incluir los ensayos sobre la operación de pliege del sistema, tanto en el caso de que el sistema deba ser almacenado, como en el caso de que se realice una carga directa para ser transportado.

Como resultado se realizará la fabricación de un prototipo de celosía para llevar a cabo el resto de tareas de esta actividad. La fabricación de los elementos cerámicos, y el montaje del prototipo se realizará en las instalaciones de FAVETON. Los elementos auxiliares, no cerámicos, serán proporcionados por los proveedores seleccionados, en base al diseño realizado en la actividad 1.

A día de hoy, FAVETON solo realiza la fabricación de elementos cerámicos, realizando el resto de operaciones en la propia obra. El presente proyecto presenta una solución novedosa, no solo en lo que respecta a la estructura de la fachada ventilada, sino también en la industrialización de todo el proceso de fabricación. Es por ello que las actuaciones desarrolladas en esta tarea, fabricando el sistema completo en las instalaciones de FAVETON, son completamente novedosas en el mercado.

Los puntos críticos en esta tarea serán los mismos que los asociados a la implantación de un proceso de fabricación de un nuevo producto.

Ubicación del trabajo

Las actividades de fabricación y ensamblaje se han desarrollado en las instalaciones de Faveton, donde se han producido las lamas cerámicas y se han montado los prototipos.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

Los elementos auxiliares han sido suministrados por fabricantes especializados como Metal Pintura, Tyrsa o Cables y Eslingas y enviados a las instalaciones de montaje para su integración en el sistema.

Resultados y evidencias

Los trabajos realizados han validado la viabilidad del proceso de fabricación y ensamblaje, demostrando que el sistema de celosía puede ser producido de manera eficiente y con altos estándares de calidad. Se ha verificado la correcta alineación de los elementos, la estabilidad estructural y la facilidad de montaje.

Además, la implementación de mejoras en los procedimientos ha permitido optimizar el ensamblaje de los prototipos; especialmente en el caso de la variante vertical; reduciendo tiempos y evitando problemas de ajuste. El uso de tensores en el sistema vertical ha incrementado su rigidez, mientras que el uso combinado de bisagras y pletinas ha facilitado la instalación y asegurado una conexión firme entre los tubos cerámicos, evitando así cualquier posible rotación.

Conclusión

El desarrollo de los prototipos ha sido un proceso clave para validar la viabilidad técnica del sistema de celosía tubular cerámica colgante.

La fabricación de las lamas cerámicas mediante extrusión ha demostrado ser un método eficiente y preciso, asegurando productos de alta calidad.

El ensamblaje de los prototipos ha permitido identificar y corregir diversas dificultades en el proceso de montaje, optimizando la disposición de los elementos y mejorando la eficiencia del sistema. Gracias a estas iteraciones, se han implementado mejoras significativas en la alineación de las lamas, la estabilidad estructural y la facilidad de instalación.

Tarea 2.2. Instalación del prototipo en entorno real

En esta tarea se estudiará el proceso necesario para la instalación del sistema de celosía sobre fachada. Este proceso debe incluir las siguientes operaciones:

- Proceso de plegado de la celosía, dependiendo del resultado del proceso de
- fabricación.
- Transporte desde las instalaciones de FAVETON hasta el punto de instalación en obra.
- Proceso de desplegado de la celosía y preparación para instalación final.
- Instalación sobre una fachada soporte y obtención de mediciones de tiempos de colocación.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

Dada la novedad del proyecto, ninguna de estas operaciones se ha realizado dentro del proceso de producción realizado hasta la fecha, bien por tratarse de operaciones específicas del nuevo sistema (transporte e instalación), o bien por no ser necesarias con los productos actuales (plegado y desplegado).
Para esta tarea se utilizará el prototipo fabricado como resultado de la tarea 2.1, y la instalación de la celosía se realizará sobre una de las fachadas de las instalaciones de la empresa. Para la operación de instalación sobre fachada, se requerirá de la colaboración de una empresa especializada en instalación de paños.

Ubicación de prototipos

Las pruebas de instalación se llevaron a cabo en las instalaciones de Faveton en Muel, Zaragoza, donde se dispuso de una fachada soporte para evaluar el proceso en condiciones reales. Este entorno controlado permitió realizar ajustes y mejoras sin interferencias externas, asegurando que el sistema estuviera completamente optimizado antes de su aplicación en proyectos reales.

Resultados y evidencias

El proceso de instalación permitió validar la eficiencia del sistema y su facilidad de montaje. En el caso del sistema horizontal, se comprobó que la instalación es rápida y precisa, aunque se identificaron mejoras en la fijación de los flejes a la ménsula de retención para garantizar una mayor estabilidad y rigidez del conjunto.

En el sistema vertical, las iteraciones progresivas permitieron corregir problemas iniciales, logrando una solución estable con la incorporación de un tensor y la optimización de los clips-bisagra. Se constató que el sistema es viable para su instalación en obra, aunque se recomendaron ajustes en la geometría de los clips-bisagra para mejorar su integración estética.

Conclusión

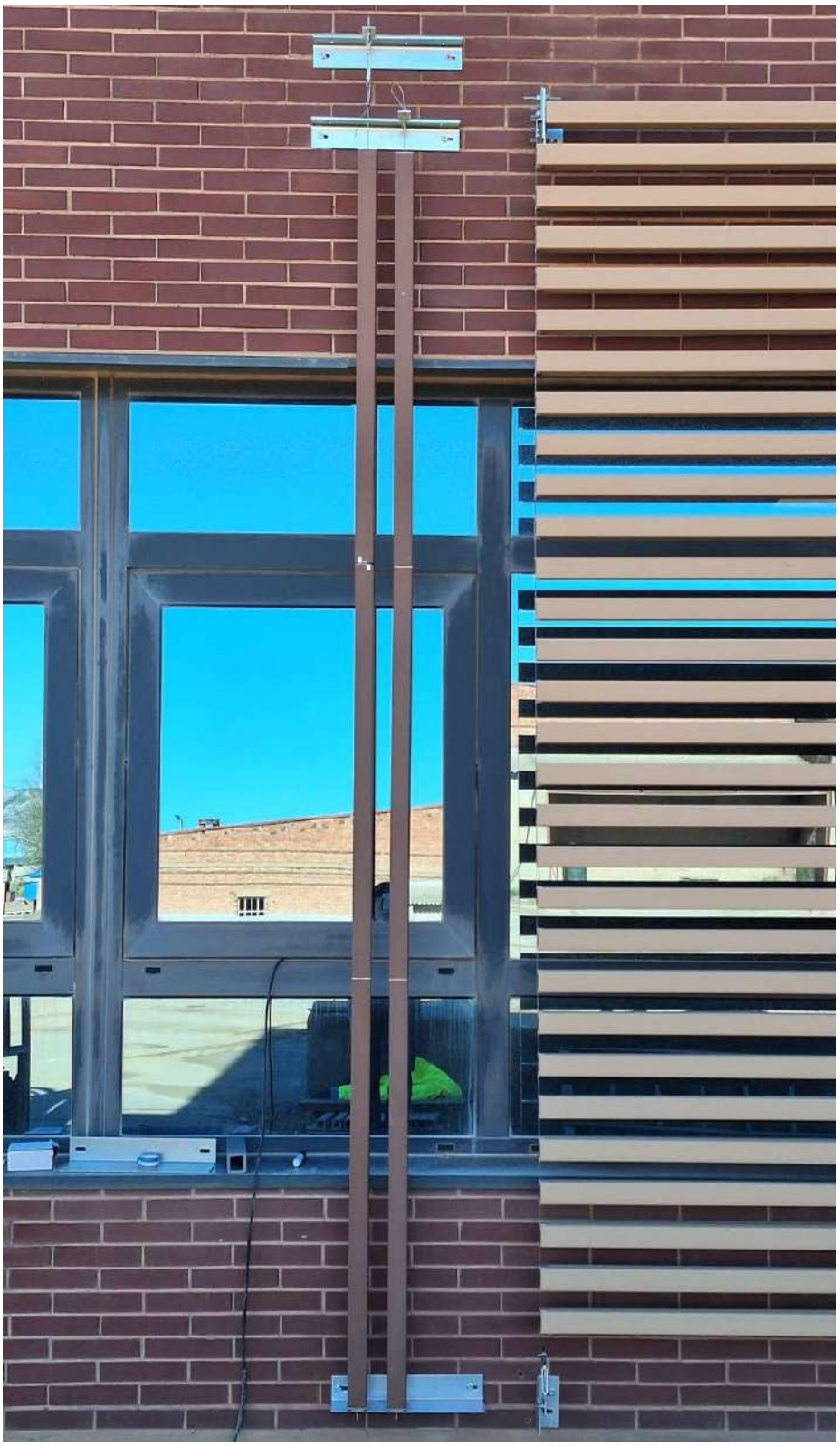
El proceso de instalación de los prototipos en un entorno real ha sido clave para validar la viabilidad del sistema de Celosía Tubular Cerámica Colgante. Se han identificado mejoras en la estabilidad del sistema vertical y en la fijación de los elementos del sistema horizontal, lo que ha permitido optimizar el procedimiento de montaje.

El sistema ha demostrado ser una solución arquitectónica innovadora, funcional y estéticamente atractiva, con un proceso de instalación industrializado que reduce tiempos y costos en obra. Los ajustes realizados garantizan que el producto final cumpla con los más altos estándares de calidad, asegurando su viabilidad para futuras aplicaciones en proyectos de fachada ventilada.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

Prototipo de variante horizontal instalado.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN



Prototipo de variante vertical instalado.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

Tarea 2.3. Ensayos sobre prototipo

Como resultado de las tareas 2.1 y 2.2, se dispondrá de un prototipo funcional del sistema completo de celosía instalado sobre fachada. El objetivo de esta tarea es estudiar el funcionamiento del sistema en uso real:

- Comportamiento del sistema. Ensayos sobre el sistema de celosía completo,
- verificación de parámetros de seguridad
- Seguimiento del sistema frente al efecto de los agentes meteorológicos.
- Operaciones de mantenimiento. Estudio de las acciones necesarias para el mantenimiento del sistema, realización de reparaciones y cambio de componentes.

En esta tarea se podrá comprobar la viabilidad técnica y económica del sistema, por lo que se obtendrán resultados muy importantes para la comercialización y asistencia técnica de la solución.

Resumen de resultados y determinación de la viabilidad económica del sistema

El análisis económico ha comparado los costes del sistema de celosía tubular cerámica colgante con otros sistemas convencionales, determinando su rentabilidad y eficiencia en términos de fabricación e instalación.

El sistema horizontal es viable económicamente, ya que tal y como se muestra en la tabla, el **coste/m^2** sería de **102,67€/m^2.** Un valor muy inferior al contemplado previamente para el sistema SALP, de 160€/m^2. **Estos valores reflejan un % de mejora económica sobre el sistema actual del 35,83%.**

El sistema es viable económicamente, ya que tal y como se muestra en la tabla, el **coste/m^2** sería de **115,81€/m^2.** Un valor inferior al contemplado previamente para el sistema SALP, de 160€/m^2. **Estos valores reflejan un % de mejora económica sobre el sistema actual del 27,62%.**

Un factor clave en la viabilidad económica del sistema es su nivel de prefabricación, permitiendo un montaje rápido y reduciendo costos de instalación en obra. El sistema modular posibilita una instalación eficiente, evitando la colocación de lamas individuales y reduciendo tiempos de trabajo.

Conclusión

Tras el análisis técnico y económico realizado sobre el Sistema de Celosía Tubular Cerámica Colgante, se concluye que tanto la variante horizontal como la vertical son viables y adecuadas para su implementación en proyectos arquitectónicos reales.

Desde un punto de vista técnico, el sistema cumple con las normativas de seguridad estructural, resistencia mecánica, estabilidad ante cargas de viento y durabilidad, garantizando su rendimiento a largo plazo. Se han identificado ajustes menores en las

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN

fijaciones y juntas de EPDM, los cuales pueden ser corregidos fácilmente en futuras versiones.

En cuanto a la viabilidad económica, el sistema resulta competitivo en comparación con otras soluciones de protección solar y fachadas ventiladas, con costes optimizados gracias a su diseño prefabricado. Se espera que la producción a gran escala reduzca aún más los costes unitarios, mejorando su rentabilidad.
Por último, el sistema presenta beneficios adicionales en términos de sostenibilidad, ya que el material cerámico es reciclable, resistente y de bajo mantenimiento, contribuyendo a la eficiencia energética del edificio al actuar como un elemento de protección solar.

En base a lo anterior, se recomienda la adopción del sistema de celosía colgante en proyectos arquitectónicos, asegurando que su diseño modular y optimizado permita una instalación eficiente, segura y duradera.

Cofinanciado por la Unión Europea
MINISTERIO DE HACIENDA
Fondos Europeos
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CIENCIA, INNOVACIÓN Y UNIVERSIDADES
CDTI INNOVACIÓN