

## Celda para actuador de ventilación e iluminación natural para fachadas de edificios inteligentes

San Martín-Guardeño, F.<sup>1</sup>, Padial-Allué, D.<sup>1</sup>, Vázquez-Martín, R.<sup>1,\*</sup>

*Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga, Andalucía Tech.*

**To cite this article:** San Martín-Guardeño, F., Padial-Allué, D., Vázquez-Martín, R. 2023. Natural ventilation and lighting actuator cell for intelligent building facades. XLIV Jornadas de Automática, 726-731. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498609.726>

### Resumen

La arquitectura sostenible se ha convertido en un aspecto cada vez más relevante en la sociedad actual, y uno de sus principales pilares es la eficiencia energética en los edificios. En este sentido, la incorporación de elementos arquitectónicos inteligentes y automatizados puede contribuir significativamente tanto a la optimización del consumo energético como a la experiencia de los usuarios y la funcionalidad de los edificios. En este trabajo se presenta el diseño y la implementación de una celosía de apertura automática para una fachada, que permite la regulación de la entrada de luz y la ventilación natural en el interior del edificio. Se describen los principios de funcionamiento de la celosía, su diseño y los materiales utilizados en su fabricación. La fachada inteligente también cuenta con sensores que permiten monitorizar las condiciones ambientales en el interior y exterior del edificio, ajustando automáticamente la iluminación y la ventilación en función de las necesidades de los usuarios y las condiciones climáticas. La celda propuesta, forma parte de una fachada inteligente que consta de varias celdas interconectadas que integran diferentes tecnologías y elementos arquitectónicos que representan una solución arquitectónica innovadora y eficiente que puede contribuir significativamente a la sostenibilidad y el confort de los edificios.

*Palabras clave:* Ventilación, Celosía, Servo-accionamiento, Mecanismo.

### Natural ventilation and lighting actuator cell for intelligent building facades

#### Abstract

Sustainable architecture has become an increasingly relevant topic in modern society, and one of its main pillars is energy efficiency in buildings. Therefore, the use of intelligent and automated architectural elements can significantly contribute to optimizing energy consumption and also user experience and building functionality. The design and implementation of an automatic opening cell for a facade is presented in this article. This cell allows the regulation of natural light and ventilation inside the building. The operational principles of the cell, its design, and the materials used in its manufacture are described. The intelligent facade is also composed by sensors to monitor environmental conditions inside and outside the building, automatically adjusting lighting and ventilation based on user needs and weather conditions. The proposed cell is part of an intelligent facade consisting of several interconnected cells that integrate different technologies and architectural elements. This represents an innovative and efficient architectural solution that can significantly contribute to the sustainability and comfort of buildings.

#### Keywords:

Ventilation, actuator cell, Servo drive, Mechanism

\*Autor para correspondencia: [rvmartin@uma.es](mailto:rvmartin@uma.es)  
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)



Figura 1: Prototipo de Espacio Educativo Exterior Eficiente (E4)

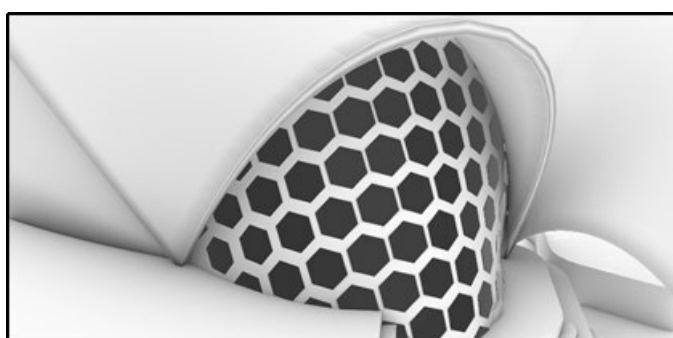


Figura 2: Detalle de cerramiento, con espacios hexagonales (sombreado) donde se ubican los actuadores del proyecto *Sensitive Panel*

## 1. Introducción

La inclusión del espacio docente y su organización como un instrumento valioso para el aprendizaje ha puesto en valor la estimulación, la funcionalidad y la estética orientadas hacia el alumnado a la hora de diseñar nuevos espacios educativos (Gutiérrez and López, 2002). En este sentido, el entorno exterior al aula también juega un papel significativo, donde tras numerosas investigaciones se puede asociar que las zonas verdes colindantes, la naturaleza interior y las condiciones climáticas adecuadas ayudan a mejorar la calidad de vida del estudiante (van den Bogerd et al., 2020).

El Proyecto E4 (ver Figura 1), de la denominación Espacio Exterior Educativo Eficiente, surge como respuesta para dar cabida a un espacio docente semi-exterior en el campus de la Universidad de Málaga. Se trata de un trabajo multidisciplinar, con la participación de grupos de investigación pertenecientes a las Escuelas de Ingenierías Industriales, de Ingeniería de Telecomunicaciones y de Arquitectura. El pabellón E4 consiste en una solución intermedia entre un espacio al aire libre y un aula de vanguardia, a través de la definición de su forma arquitectónica y geometría (Gavilanes and Ventura, 2020). Se trata de un aula integrada en una Isla Verde centrada en el diseño ecoeficiente y paramétrico de aula exterior, mediante tecnologías

de sostenibilidad pasivas y activas con integración de sistemas de sensorización y monitorización interactiva con implementación de inteligencia artificial para el aprendizaje (Universidad de Málaga, 2023).

El objetivo general es buscar nuevas soluciones de fachada que sean capaces de relacionarse con su entorno, aportando mejoras energéticas, de confort o de uso a partir de diferentes estrategias de respuesta de la envolvente del edificio frente a las condiciones exteriores e interiores. Como continuación del proyecto E4, en el proyecto *Sensitive Panel* se contempla el desarrollo de hasta al menos 7 actuadores distintos. Estos se sitúan en piezas hexagonales modulares, que se localizan en las celosías que forman parte del diseño de la fachada del pabellón como cerramiento. En la Figura 2 se muestra un detalle de estos cerramientos, donde las áreas sombreadas se corresponden con los espacios donde se van a situar las celdas hexagonales con diversos diseños, que abarcan desde celdas de monitorización (sensores), vivas (con plantas), de información (pantallas), interacción (sensores de proximidad) y ventilación. El diseño y la implementación de éstas últimas celdas son las que se describen en el presente trabajo.

La ventilación natural es una técnica pasiva eficiente, si el tiempo lo permite, para reducir el gasto energético en el acondicionamiento en el interior de edificios, además para mejorar la calidad del aire. El empleo de este tipo de iniciativas conllevan realizar un estudio del flujo de aire y la transferencia de calor. Estos modelos son más precisos para pequeñas aperturas al exterior, siendo muy imprecisos los modelos para grandes aberturas, debido a las no linealidades generadas por la combinación de fuerzas y geometrías complejas (Zhai et al., 2016). En este sentido, la ventilación natural y el bloqueo de la luz solar es una de las formas más efectivas de incrementar la resiliencia climática de los edificios (Ponechal and Chabada, 2021). En edificios árabes, como puede observarse en edificios históricos, el Mashrabiya es un espacio creado en base a ventanas de madera en sus fachadas que permite la entrada de ventilación y luz natural, aunque olvidado durante mucho tiempo por el cambio en la edificación, ha sido adaptado en edificios contemporáneos (Abdelkader and Park, 2018). Otros enfoques en este sentido para reducir la necesidad de acondicionamiento de la temperatura interior y el uso de luz artificial se puede encontrar en edificios con otros diseños, como de tipo diafragma (Krnjaić and Jovanović, 2021) o basados en fachadas de estética tipo siamesa en Malasia (Chuan et al., 2023).

El resto del presente artículo está organizado de la siguiente forma: después de esta introducción y repaso al trabajo relacionado, en la Sección 2 se enumeran los requisitos que deben cumplir las celdas de ventilación tanto en su diseño como para cumplir con su funcionalidad. En la Sección 3 se describen las decisiones en el diseño de la celda, por un lado los componentes estáticos y móviles de la celda y, por último, el mecanismo de transmisión del movimiento. En la Sección 4 se detallan aspectos importantes en la construcción del prototipo de celda de ventilación y se enumeran las partes constitutivas. Finalmente, en la Sección 5 se discuten las conclusiones que se desprenden del presente trabajo y se esbozan líneas de trabajo futuro.

## 2. Requisitos de las celdas de ventilación

La celda de ventilación es un componente que conecta con el exterior, permitiendo la entrada de aire y luz natural. Esta celda se ubicará en ciertas tramas hexagonales. El objetivo principal del diseño de estas celdas es lograr modularidad e intercambiabilidad. Para cumplir con este principio, las celdas deben tener una forma hexagonal regular inscrita en una circunferencia de 300 mm de diámetro, lo que les permite adaptarse a las estructuras ya dispuestas en el proyecto y facilitar la sustitución de uno o varios hexágonos por un nuevo módulo. Todas las celdas deben contar con una conexión eléctrica y de datos idéntica. Para el intercambio de información entre las celdas y el edificio, se ha decidido utilizar el protocolo inalámbrico Zigbee.

En particular, la celda de ventilación debe ser un mecanismo que permita controlar la apertura en función de las necesidades del usuario o las condiciones ambientales del aula. La celosía en su conjunto debe garantizar un cierre completo para aislar el aula del exterior, evitando la entrada de humedad, viento y lluvia. A este respecto, el cálculo aeráulico realizado sobre el pabellón E4 (Gavilanes and Ventura, 2020), considerando la zona donde se proyecta la construcción, la velocidad de viento más desfavorable es la dirección oeste con una magnitud de 12 m/s. La fuerza del viento se puede calcular como:

$$F = A \cdot P \cdot C_d \quad (1)$$

donde  $A$  es el área donde impacta el viento,  $P$  es la presión del viento y  $C_d$  el coeficiente de resistencia. La presión del viento se puede determinar como:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho_o \cdot V^2 \quad (2)$$

donde  $\rho_o$  es la densidad del aire y  $V$  la velocidad del viento. Por tanto, resulta una presión de 88, 27 Pa. Considerando el coeficiente de resistencia para una superficie plana de 1, 4 y que el área de la celda es 0,04 m<sup>2</sup>, la fuerza del viento resulta de 4, 94 N. Por tanto, el mecanismo debe ofrecer una fuerza suficiente tanto para realizar la apertura como para mantener la posición.

Por último, el mecanismo debe ofrecer la posibilidad de abrir y cerrar en posiciones intermedias, lo que permite graduar la cantidad de luz y ventilación en el aula. La celda incorporará un actuador mecánico que será gestionado por un microcontrolador, ubicado en la propia celda.

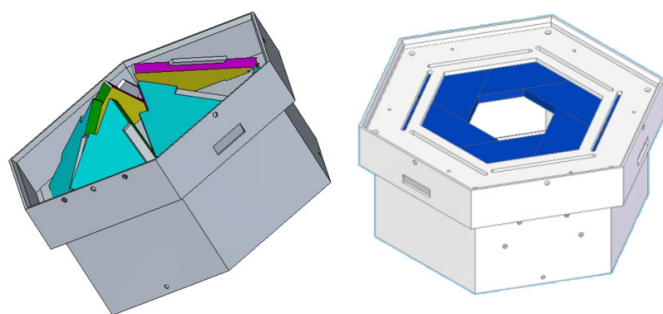


Figura 3: Mecanismo de apertura axial. Mecanismo de apertura radial

## 3. Diseño mecánico

### 3.1. Selección de planos de movimiento

Para el diseño de la celosía, se han considerado dos mecanismos diferentes de apertura: una apertura axial que simula los pétalos de una flor y una apertura radial (ver Figura 3). Inicialmente, se consideró un diseño de apertura axial para la celosía usando un mecanismo de 4 barras y deslizaderas accionadas mediante un tornillo sin fin similar a los utilizados en los Fowler flaps de los aviones (Zaccai et al., 2016).

Sin embargo, este mecanismo presentaba ciertas limitaciones. Aunque su apariencia se asemejaba a la apertura de los pétalos de una flor, para evitar que la apertura se viera afectada por el viento, se requería un anclaje mecánico que implicaba un movimiento asíncrono entre los distintos pétalos. Además, la disposición no lineal sino en forma de hexágono, necesita utilizar una transmisión compleja y múltiples servoaccionamientos.

Estas complicaciones y requisitos adicionales hicieron que esta opción no fuera viable en términos de simplicidad, eficiencia y coste. Después de evaluar ambas opciones, se ha decidido optar por el sistema de apertura radial inspirado en el mecanismo de iris.

El inicio de este mecanismo se remonta al diafragma mecánico de las cámaras fotográficas con el que se graduaba fácilmente la entrada de luz a la lente. Está compuesto por tres partes principales: la base, el anillo de accionamiento y las palas o pétalos. Cada pétalo se encuentra unido a las ranuras del anillo mediante un sistema de cuatro barras, con lo que se produce un movimiento simultáneo y controlado de los pétalos al girar el accionamiento (Kunze, U.S. Patent US337190, 1925).

Posteriormente han surgido numerosas variantes de este mecanismo donde se modifica la geometría, espesor y número de palas y/o el sistema de accionamiento, siendo usado en numerosas aplicaciones como válvulas hidráulicas (Lubold, U.S. Patent US1547658, 1968) o sistemas de control de iluminación natural (Krnjaić and Jovanović, 2021). Otro uso es como fijador o mano robótica que permita centrar y sujetar elementos, para ello se sustituyen los eslabones por laminas delgadas que flexan en base a su rigidez (Arora et al., 2022). Para el caso de estudio, este mecanismo ofrece varias ventajas significativas.

En primer lugar, el mecanismo de iris permite lograr la apertura y cierre completas utilizando un único movimiento del motor con un giro del anillo inferior a 60° al estar dividido en 6 partes. Esto permite simplificar el diseño, reduce el coste de implementación y maximiza el área de apertura de la celosía. Además, este enfoque presenta un mejor comportamiento frente a los esfuerzos del viento, ya que distribuye de manera más efectiva las fuerzas y minimiza el riesgo de daños o deformaciones en la celosía.

Otra ventaja importante es que la apertura radial del mecanismo permite una apertura gradual y controlada, lo que proporciona mayor flexibilidad al usuario para ajustar la ventilación y la entrada de luz en el espacio interior. Al mantener la geometría hexagonal y evitar la invasión de otros planos, se garantiza que la estructura se mantenga sólida y estéticamente coherente.



### 3.2. Marco y ubicación de elementos de actuación

Para el diseño del marco de la celosía, se ha tomado como punto de partida el hexágono original que es común a todas las celdas de la fachada, con el objetivo de mantener su forma en la medida de lo posible. Sin embargo, se han realizado modificaciones necesarias para permitir la colocación del servo-actuador y el microcontrolador en el interior del hexágono.

Con el fin de satisfacer estas necesidades, se ha añadido una tapa (ver Figura 4) al marco hexagonal que cumple tres funciones principales. En primer lugar, la tapa tiene una función estética, ya que ayuda a proporcionar una apariencia visualmente atractiva a la celosía. Además, la tapa cumple una función protectora al resguardar el servo-actuador y el microcontrolador de posibles daños externos. Por último, la tapa también desempeña una función mecánica crucial al proporcionar soporte y estabilidad al conjunto de la celosía. Esta tapa se ha diseñado de manera cuidadosa para garantizar su compatibilidad con el marco hexagonal y permitir una integración adecuada de los componentes internos.

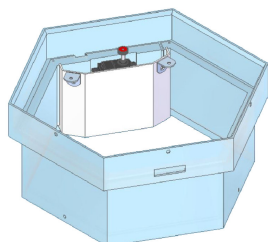


Figura 4: Detalle de la ubicación del servo-actuador y placa de control.

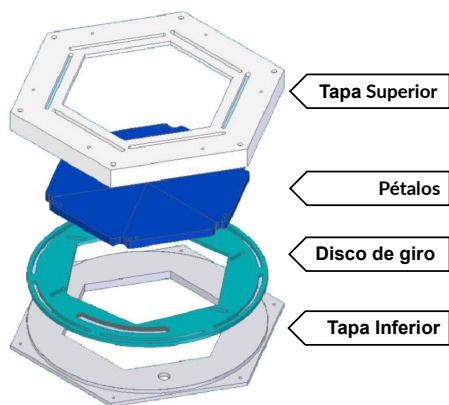


Figura 5: Despiece de los componentes del mecanismo.

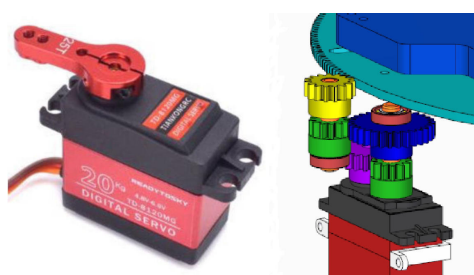


Figura 6: Servomotor y detalle del mecanismo piñón cremallera

### 3.3. Mecanismo y transmisión del movimiento

La apertura de la celosía está controlada mediante el mecanismo de iris que se acciona radialmente. Como se puede observar en la Figura 5, el mecanismo está compuesto por: la tapa superior, los pétalos, el disco de giro y la tapa inferior. Tanto la tapa superior como la tapa inferior están equipadas con guías que dirigen el movimiento de los pétalos y permiten el giro del disco. Estas guías garantizan un desplazamiento suave y preciso de los elementos móviles de la celosía (ver disco de giro en Figura 5).

El disco de giro se encuentra conectado al servomotor a través de un sistema de transmisión formado por un tren de 5 engranajes que termina conectando con la cremallera del disco como se puede ver en la Figura 6. Con un giro del motor de 166,5°, gracias al sistema de transmisión por engranajes, con una relación de transmisión de 3.2, se consigue un giro de 52° del disco. Esta conexión asegura una transmisión efectiva del movimiento y proporciona un control preciso sobre la apertura y cierre de la celosía. El servomotor se encarga de accionar el mecanismo de manera precisa y ajustable, permitiendo así graduar la posición de apertura o cierre de la celosía según las necesidades del usuario.

Con el propósito de aumentar lo máximo posible el área de ventilación, se crea un mecanismo simple con el que reducir la sección del pétalo de forma autónoma cuando el sistema se encuentre en la posición de máxima apertura. Cada pétalo está dividido en dos partes y cuentan con un sistema automático de ocultación mediante muelles y guías. Este sistema permite que el vértice inferior de los pétalos se introduzca dentro de la cavidad de la parte superior del pétalo de manera automática como se puede ver en la Figura 7.

El servo-actuador se encarga de dar movimiento a la celosía, para permitir el paso de la ventilación y abrir el mecanismo. El giro del servo provoca la compresión de los muelles empujando el vértice guiado del pétalo hacia el interior de éste, ocultándolo completamente. En el movimiento inverso de cierre de la celosía, los muelles se descomprimen gradualmente a medida que el servomotor vuelve a su posición de inicio, recuperándose la forma triangular del pétalo y sellando completamente la entrada de luz y aire. Es importante destacar que el movimiento de los pétalos es completamente simultáneo, lo que asegura una apertura uniforme y coordinada de la celosía.

Para reducir la fricción y garantizar la estanqueidad del mecanismo cuando se encuentre cerrado, evitando la filtración de agua u otras partículas, las caras colindantes de los pétalos se han diseñado con un guiado cóncavo-convexo, que además facilita el guiado y garantiza la posición y alineamiento de unos pétalos con otros.

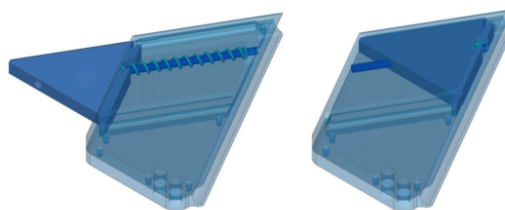


Figura 7: Detalle del mecanismo de apertura de los pétalos.

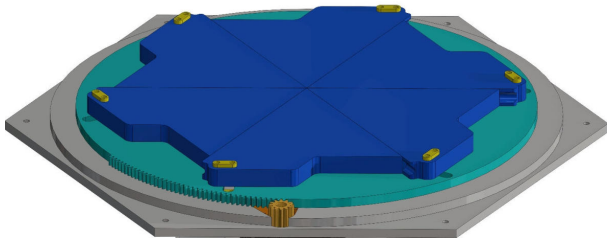


Figura 8: Conjunto de implementación del mecanismo.

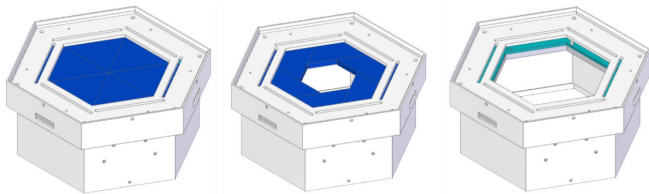


Figura 9: Apertura del mecanismo

#### 4. Detalles de implementación y componentes

El objetivo principal de este proyecto es asegurar que la mayor parte de las piezas sean imprimibles en 3D, con la excepción de elementos normalizados y elementos clave para la transmisión del movimiento.

El marco es la pieza fundamental y común a todos los elementos de la fachada. Se fabrica en impresión 3D lo que permite crear formas y geometrías complejas que se adaptan perfectamente a las necesidades del proyecto y que sea un elemento ligero. Las tapas del marco superior e inferior, son elementos propios de la celda. En el mecanismo de la celda de ventilación, se ha seleccionado un servomotor con un par de  $1,92 \text{ Nm}$  para generar el movimiento requerido. Este actuador proporcionará la potencia necesaria para operar el mecanismo de apertura y cierre de la celosía. Para transmitir el movimiento al mecanismo, se utiliza un tren de engranajes normalizados de acero. Estos engranajes se acoplan al eje de salida del servomotor y permite la transferencia de potencia y movimiento al sistema de la celosía (ver Figura 6).

Además, para garantizar la resistencia y durabilidad del mecanismo, se utiliza un disco de acero inoxidable de  $3 \text{ mm}$  de espesor. Este disco actúa como una parte central en el sistema de apertura y cierre de la celosía. En la Figura 8 se muestra el conjunto del mecanismo con los pétalos cerrados y su fijación al disco de giro. El acero inoxidable utilizado para este disco es resistente a la corrosión, lo cual es especialmente importante dado que estará expuesto al exterior y a diferentes condiciones ambientales. En el diseño de los pétalos de la celosía de ventilación, se ha optado por utilizar la impresión 3D como método de fabricación. Los pétalos están compuestos por tres partes desmontables, lo que permite un montaje sencillo y facilita el mantenimiento y posibles reparaciones. La primera parte de cada pétalo es el vértice, que se imprime en una sola pieza sólida. Al ser impreso en 3D, se puede diseñar con formas y geometrías específicas para cumplir con los requisitos de funcionamiento y estética. La segunda parte de cada pétalo es la

carcasa, que consta de dos partes desmontables. Estas partes se imprimen por separado y se diseñan para encajar perfectamente, permitiendo un fácil montaje y desmontaje del pétalo en su conjunto. Los pétalos poseen una forma triangular y se unen al disco central. Cuando el disco gira, con la asistencia de unos colisos, los pétalos se retraen y abren la celosía. Para garantizar la extensión de los vértices se incorporan dos muelles en el interior de la carcasa. Estos muelles proporcionan la fuerza necesaria para que los pétalos se abran y se cierren de manera controlada. La posibilidad de desmontar las partes de la carcasa facilita la instalación de los muelles y su posterior reemplazo en caso de ser necesario. En la Figura 9 se muestra el conjunto completo de la celda de ventilación, en la que se puede apreciar la apertura completa y el cierre total de la celosía, y una posición intermedia de apertura.

El mecanismo de la celosía ventilación es accionado por un servomotor controlado mediante un controlador PWM que permite regular la apertura de la celosía. El ángulo de apertura se puede seleccionar manualmente o de forma automática. La apertura manual se realizará aproximando la mano a un sensor PIR con el que se podrá regular al gusto del usuario la apertura de la celosía. La apertura automática se realizará utilizando una celda sensorizada, encargada de detectar tanto las condiciones ambientales interiores como exteriores (velocidad del viento y temperaturas), y enviará la consigna de apertura para garantizar que las condiciones de confort sean las óptimas dentro del aula.

Con el objetivo de verificar el comportamiento cinemático y dinámico del mecanismo se realiza una simulación del movimiento añadiendo las restricciones y conexiones entre los componentes, así como sus correspondientes propiedades físicas. Tras añadir la variable de entrada de servomotor queda definido completamente el sistema pudiendo realizar un análisis de comportamiento y evaluar el desempeño del mecanismo, obteniendo como resultados la identificación de puntos de interferencia, la visualización de las trayectorias de movimiento, o colisión, el análisis de fuerzas y momentos, entre otros aspectos. Este análisis proporciona información suficiente para el correcto funcionamiento del mecanismo, así como las vías para iniciar la optimización y mejora del diseño.

#### 5. Conclusiones

Mediante este proyecto, se ha logrado una solución innovadora y eficiente para mejorar la estética y funcionalidad de las fachadas en edificios inteligentes. El diseño de la celosía de ventilación forma parte de una fachada compuesta por celdas que comparten un marco común, lo que garantiza la intercambiabilidad entre ellas. La celosía de ventilación ofrece una apertura gradual y automática, lo que contribuye a mejorar la funcionalidad y comodidad del edificio. Con el objetivo de lograr un movimiento sencillo y funcional, se ha optado por utilizar un único servomotor. Esta elección permite un control preciso y confiable del movimiento de la celosía. A la par que, se simplifica el diseño y la implementación, evitando la necesidad de sistemas más complejos o costosos. El diseño ha sido especialmente desarrollado para resistir las condiciones exteriores, utilizando materiales resistentes a la corrosión y dando prioridad al uso de piezas normalizadas. Esto simplifica el proceso de producción y reduce los costos asociados.

Actualmente el diseño del mecanismo se encuentra en fase de fabricación del prototipo. Como futuras líneas de trabajo a seguir se pueden destacar la realización de pruebas funcionales, para validar si la ceda diseñada cumple los estándares de durabilidad, estabilidad y resistencia, así como su funcionalidad en el aula como celosía de ventilación e iluminación natural. Por último, sería interesante estudiar la introducción de nuevos materiales para su fabricación que añadan características como la fotoluminiscencia.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo del proyecto *Sensitive Panel*, del II Plan Propio de Smart-Campus de la Universidad de Málaga. Los autores agradecen la colaboración de los grupos de investigación de Ingeniería de Sistemas Integrados (ISIS) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación y el Laboratorio de Arquitectura Experimental Avanzada y Nuevas Tecnologías (eAM') de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, ambas de la Universidad de Málaga.

### Referencias

Abdelkader, R., Park, J.-H., 2018. Sustainable building façades: Modern usages of the traditional mashrabiya. *Open House International* 43, 69–76.  
 URL: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/sustainable-building-faades-modern-usages/docview/2131580907/se-2>  
 Arora, V., Kumar, P., Kumar, R., Khatait, J. P., 2022. Design of compliant iris. Tech. rep., Design of Compliant Iris.

Chuan, N. S. B. S., Razif, F. M., Mydin, M. A. O., Mohidin, H. H. B., Chung, L. P., 2023. View of solar responsive facade as siamese cultural aesthetic frontage in malaysia. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology* 29, 62–76.  
 URL: [https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/applied\\_sciences\\_eng\\_tech/article/view/1592/996](https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/applied_sciences_eng_tech/article/view/1592/996)  
 DOI: <https://doi.org/10.37934/araset.29.3.6276>  
 Gavilanes, J., Ventura, F., 2020. Proyecto básico y de ejecución de Proyecto E4 Espacio Educativo Exterior Eficiente Campus de Teatinos. Tech. rep., Vicerrectorado de Smart Campus. Universidad de Málaga.  
 Gutiérrez, C. L., López, C. P., 2002. El espacio como elemento facilitador del aprendizaje. una experiencia en la formación inicial del profesorado. *Pulso. Revista de educación*.  
 DOI: 10.58265/pulso.4894  
 Krnjaić, A., Jovanović, M., 9 2021. Iris diaphragm mechanism application for daylighting control. In: Stojakovic, V., Tepavcevic, B. (Eds.), *Proceedings of the 39th eCAADe Conference*. pp. 505–514.  
 DOI: <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2021.1.505>  
 Kunze, H., U.S. Patent US337190, 1925. Iris diaphragm.  
 Lubold, R. P., U.S. Patent US1547658, 1968. Iris valve.  
 Ponechal, R., Chabada, M., 2021. The impact of ventilation and shading control on the result of summer overheating simulation. *Civil and Environmental Engineering* 17, 327–334.  
 DOI: 10.2478/cee-2021-0034  
 Universidad de Málaga, 2023. Estado del proyecto E4. URL <https://www.uma.es/smart-campus/noticias/estado-del-proyecto-e4/>, Último acceso Mayo 15, 2023.  
 van den Bogerd, N., Dijkstra, S. C., Koole, S. L., Seidell, J. C., de Vries, R., Maas, J., 2020. Nature in the indoor and outdoor study environment and secondary and tertiary education students' well-being, academic outcomes, and possible mediating pathways: A systematic review with recommendations for science and practice. *Health and Place* 66.  
 DOI: 10.1016/j.healthplace.2020.102403  
 Zaccai, D., Bertels, F., Vos, R., 12 2016. Design methodology for trailing-edge high-lift mechanisms. *CEAS Aeronautical Journal* 7, 521–534.  
 DOI: 10.1007/s13272-016-0202-7  
 Zhai, Z. J., Johnson, M. H., Mankibi, M. E., Stathopoulos, N., 10 2016. Review of natural ventilation models. *International Journal of Ventilation* 15, 186–204.  
 DOI: 10.1080/14733315.2016.1214390