



UNIÓN DE ASOCIACIONES
DE INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES Y GRADUADOS
EN LA INGENIERÍA DE LA
RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA

UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA (UAITIE)

“CONVOCATORIA 2025”

X PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

Título del Trabajo:

**Diseño de repisas reflectantes para mejorar la luz
natural en el interior de vivienda**

AUTOR/ES:

Daniel Calavia León, Marco Calavia León, Daniel Calavia Sánchez

BLOQUE TEMÁTICO:

Diseño Industrial, Ahorro Energético

NIVEL EDUCATIVO:

4ºESO y 2º Bachillerato

COORDINADOR:

Pablo Ijalba Pérez

MARZO 2025

Resumen

Introducción. La iluminación natural ofrece beneficios sobre el uso eficiente de la energía eléctrica, en el impacto medioambiental y en el bienestar del usuario (DirectivaEU, 2018; Pacto Verde europeo, 2019). La finalidad de este proyecto ha sido desarrollar un proceso de diseño de producto con el objetivo de crear un dispositivo capaz de reflejar la luz solar incrementando la iluminación natural en interiores.

Métodos. Se desarrolló una metodología completa de diseño de producto (Ulrich y Eppinger, 2013). Se revisó el estado del arte, el marco normativo y se efectuó un análisis de mercado para establecer un análisis del producto. También se incluyeron modelos de estimación del confort visual y de la iluminación interior.

Resultados. La solución desarrollada consiste en un dispositivo innovador creado ex novo concebido para integrarse de manera sencilla y sin instalación en el alféizar exterior de las ventanas. El dispositivo consta de una superficie reflectante ajustable que redirige los rayos solares hacia el interior de la vivienda. Su estructura modular permite una fácil instalación y adaptación a distintas dimensiones de ventanas, ofrece resistencia a condiciones climáticas alternas y su grado de inclinación es ajustable para aprovechar la luz natural en horas de exposición directa del sol a pesar del movimiento de este.

Conclusiones. El final combina principalmente eficiencia y funcionalidad, respondiendo por completo a los requerimientos identificados durante el proceso de investigación. También destaca por su potencial de replicabilidad y escalabilidad, y se observó potencial para incorporar automatización e integración en sistemas de domótica.

Palabras Clave

Ahorro de energía, iluminación natural, sistemas de conducción de luz, sistemas de iluminación interior, sistemas de mejora de la luz natural.



Índice

1.1. Introducción.....	4
1.2. Objetivos.....	5
1.3. Metodología.....	6
1.4. Resultados.....	8
1.4.1. Análisis del producto.....	8
1.4.2. Diseño conceptual.....	10
1.4.3. Diseño preliminar.....	12
1.5. Conclusión.....	16
1.5.1. Descripción general del producto.....	17
1.5.2. Piezas.....	17
1.5.3. Montaje.....	19
Bibliografía.....	19

1.1. Introducción

La iluminación natural representa un elemento principal tanto para los propietarios de vivienda, como para los diseñadores y los ocupantes, debido al uso de energía eléctrica y el impacto medioambiental asociado. Precisamente el Pacto Verde Europeo establece el uso eficiente de la energía en los edificios como uno de los instrumentos más importantes. Sin embargo, generalmente se presta mayor atención a los efectos térmicos de la luz solar (Modelación climática de la Luz Natural o '*Climate Based Daylight Modelling*', CBDM por sus siglas en inglés), que a los aspectos visuales de esta fuente de iluminación natural (Yamin & Pattini, 2022). Y, además, el diseño de condiciones de iluminación natural es una tarea compleja debido a la gran cantidad de variables que intervienen (características de los espacios y de los huecos del edificio, las condiciones que rodean al edificio y por el empleo de elementos de protección solar, principalmente) (Akram et al., 2023). No obstante, para una situación determinada de sol y tipo de cielo, la cantidad y la calidad de la iluminación natural dependen principalmente del diseño arquitectónico (Mardaljevic, 2013). Por ello la pertinencia de este estudio propuesto.

Además, la iluminación estable y adecuada de una zona habitable es un elemento fundamental para el bienestar y la salud de las personas (DirectivaEU, 2018). Además, aspectos como el confort, la productividad, el estado de ánimo o el ritmo circadiano también se ven altamente influenciados por ella (Webb, 2006; Sulli et al., 2019).

De todo esto surge el reto de diseño planteado: crear un dispositivo móvil y de fácil instalación en la repisa de una ventana que refleje la luz solar e incremente la iluminación natural del interior. Tras una revisión bibliográfica de las investigaciones de Ruggiero et al. (2022), se llegó a la conclusión de que las principales variables que afectan al desempeño del dispositivo, y que por tanto se van a analizar, son:

1. Geometría y forma.
2. Tipo de material y características ópticas de la superficie.
3. Posición e inclinación.
4. Características de las superficies de la habitación y su distribución.
5. Condiciones climáticas exteriores.
6. Comportamiento del usuario en interiores.



También dedujeron que la modificación de cualquiera de estas supondría un cambio en:

1. Energía para iluminación.
2. Necesidades de refrigeración y calefacción.
3. Confort visual.
4. Confort termohigrométrico.

Además de las anteriores, se añadieron a la investigación las variables precio y eficiencia energética. Esto se debe a que uno de los principales objetivos es que el precio de los materiales sea reducido para que sea asequible a la vez que efectivo.

En la bibliografía especializada se han propuesto modelos de sistemas de iluminación natural de edificios, basados en diferentes características esenciales y que podrían agruparse de este modo (Kim & Kim, 2010; Nair et al., 2014; Onubogu et al., 2021): los sistemas de conducción de luz simples, los complejos, los de difracción y los híbridos. Se ha realizado un proceso sistemático de búsqueda bibliográfica y en la web para detectar productos similares al que se pretende investigar (análisis de mercado). Los resultados de esta búsqueda fueron tabulados estableciendo las siguientes categorías: los materiales utilizados, la empresa fabricante, el precio y la complejidad de la instalación; además de incluirse también una breve descripción del producto. La conclusión principal fue comprobar que ninguno de ellos cumplía con las características del reto de diseño.

1.2. Objetivos

La finalidad de este proyecto ha sido diseñar un producto que se coloque en el alféizar de las ventanas capaz de redirigir la luz solar al interior de la vivienda. Además del objetivo principal ya mencionado, relacionado con el diseño de producto, otros que se han planteado fueron:

1. Analizar los diferentes indicadores de iluminación natural y de insolación, junto con los factores asociados, para detectar características generales que puedan afectar al diseño propuesto (establecer un marco teórico conceptual básico).
2. Revisar la normativa sobre edificación y vivienda, de ámbito estatal, autonómico y municipal, que pueda afectar a la instalación de dispositivos en fachada de bloques de pisos.



3. Realizar un estado del arte y un estudio del mercado completos para detectar posibles productos con características o funcionalidad similares.
4. Analizar comparativamente los materiales disponibles en el mercado más adecuados para la elaboración de un producto de alto rendimiento.

1.3. Metodología

Se ha aplicado un proceso completo de diseño de producto (Niebel & Freivalds, 2009; Ulrich & Eppinger, 2013), con el enfoque de diseño centrado en las personas (DCP). Consiste en una serie de cuatro fases sucesivas:

1. Fase previa. Establece las condiciones y características para el desarrollo del reto de diseño mediante la aplicación de técnicas específicas:
 - a. Estado del arte: junto con el análisis del mercado permitió identificar tres niveles de artefactos: propiamente sistemas de iluminación, productos comercializados y prototipos en desarrollo.
 - b. Marco normativo: la legislación estatal, autonómica y municipal fue evaluada para detectar referencias a la instalación de elementos sobre las repisas de las ventanas.
 - c. Marco teórico: para conocer las condiciones que afectan a la iluminación natural en el interior de los edificios y el confort visual de los ocupantes. Ha constado de dos conceptos básicos:
 - Confort visual (Yamin & Pattini, 2022). Se recabaron el nivel de luz recomendado para cada habitación y tarea tomadas de la norma europea EN 12464-1.
 - Condiciones de iluminación natural en interiores. Las variables que destaca la bibliografía son (Mardaljevic, 2013; Van Bommel, 2019; Ruggiero et al., 2022): fenestración (referido al diseño de la ventana), edificios y estructuras aledañas, ecorreflexión e interreflexión.
 - d. Metodología QFD (*'Quality Function Development'*): sirve para recoger la Voz del Cliente y, de este modo, registrar especificaciones para el diseño, estableciendo un orden de importancia. Además se consideró aplicar la Metodología DfX (*'Design for X'* o Diseño para X) para reducir



el número de piezas necesarias para el diseño. Se elaboró un cuestionario para recoger la Voz del Cliente aplicado al usuario potencial que son los trabajadores de AMIMET (Asociación de Personas con Discapacidad de la Ribera), cuyo plan era desarrollar una línea de negocio y para quien se destinó este diseño. Pero, al no obtener respuestas, estas especificaciones se extrajeron del estado del arte y del análisis del mercado, combinadas con las ocho dimensiones de la calidad establecidas por Garvin en 1984.

2. Fase de diseño conceptual. En base a todos los datos proporcionados por la fase anterior se pasó al diseño conceptual de distintas propuestas, básicamente utilizando algo tan sencillo como el lápiz y el papel, aunque posteriormente se utilizó un programa de creación de gráficos. En estas propuestas y para la elección de una de ellas no solo se tuvieron en cuenta los factores que afectaban a la cantidad de luz natural que penetra desde el exterior (reflexión), sino que, además, debido a que el dispositivo estaba pensado para ser colocado fuera, se calcularon las fuerzas que actuarían sobre él.
3. Fase de diseño preliminar. Se han considerado distintos materiales que podrían servir para la fabricación del producto. De ellos se compararon su precio medio; su durabilidad, o aguante a agentes corrosivos como la lluvia; su resistencia a impactos; y su reflectancia espectral, o la relación entre el flujo radiante que incide en una superficie y el flujo radiante reflejado en una única longitud de onda en condiciones de geometría fijas.
4. Fase de diseño final. Para la construcción de un prototipo se siguieron métodos de construcción virtuales mediante programas informáticos (Blender®). A este modelo se le sometió a un proceso de simulación con el propósito de confirmar que las especificaciones determinadas en la Metodología QFD se ajusten a la realidad.

Como resultado final del proceso de investigación se obtuvo un documento de ingeniería que contenga información completa sobre las propiedades del producto (pliego de condiciones) y unas instrucciones de montaje.

Se planificó mediante diagrama de Gantt un cronograma que especificaba las tareas requeridas para cada una de estas fases, con los recursos y técnicas

necesarias, junto a los resultados obtenidos, horas de dedicación y fecha prevista con plazo de ejecución.

1.4. Resultados

1.4.1. Análisis del producto

El estado del arte y el análisis del mercado permitieron identificar tres niveles de dispositivos: propiamente sistemas de iluminación (concepto teórico), productos comercializados disponibles en el mercado y prototipos en desarrollo. En la bibliografía especializada se han propuesto modelos de sistemas de iluminación natural de edificios, basados en diferentes características esenciales y que podrían agruparse de este modo (Kim & Kim, 2010; Nair et al., 2014; Onubogu et al., 2021): los sistemas de conducción de luz simples, los complejos, los de difracción y los híbridos. En el mercado se encontraron: lumiducto, tubo solar flexible, claraboyas, exutorios, losa solar, lámpara solar portátil Lucy, lámpara de Alfredo Moser, heliostato, sistema Solros. Aunque sirven para redirigir la luz natural al interior, se concluyó que ningún producto encontrado es igual al que se pretende investigar porque ninguno cumplía con las características propuestas, principalmente, que tenga un precio reducido y que sea de fácil instalación.

Tras volcar las características recogidas como Voz de Cliente en una matriz QFD y aplicar las ponderaciones, el orden de importancia de las características técnicas ordenadas de más a menos significación, es: Calidad materiales (165); Rendimiento (114); Precio (102); Complejidad y portabilidad (81 ambos); Durabilidad (54). Se ha podido concluir que el valor objetivo del precio es de 601,26€; y que la complejidad de la instalación se encuentra en una categoría intermedia, entre requerir unos conocimientos básicos y necesitar la ayuda de un profesional. La matriz informó de que se debían tratar de disminuir estas dos variables, y se consideraron prioritarias en el reto de diseño por ello.

Se consultaron las normativas disponibles a nivel estatal, autonómico y municipal sobre ventanas, edificación y fachadas, destacando:

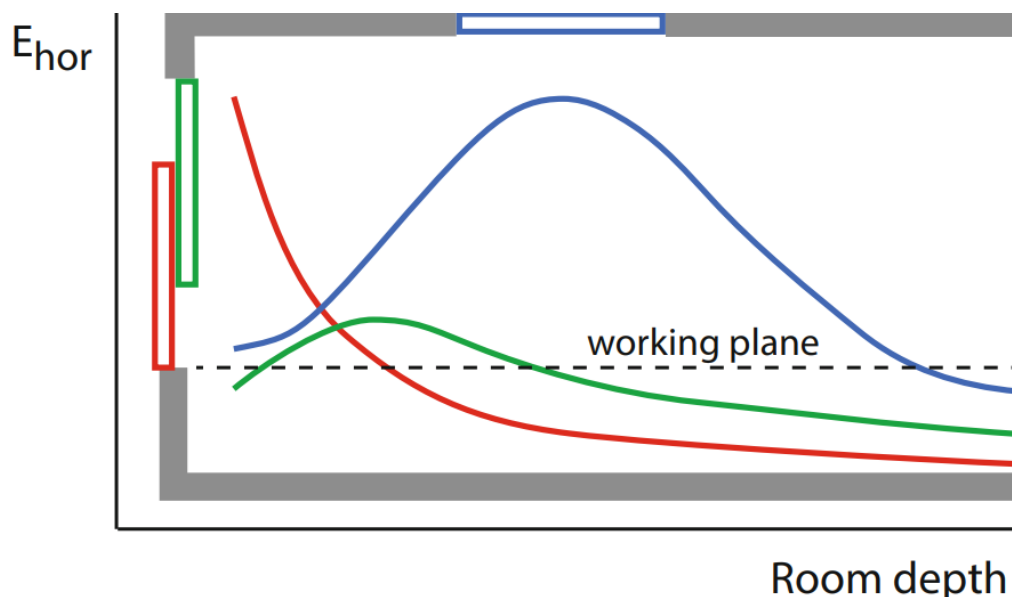
- Ley de Ordenación de la Edificación (06/11/1999).
- Código Técnico de la Edificación (CTE) (actualizado a 11/11/2024).

- Documento Básico Ahorro de Energía (HE) del Código Técnico de la Edificación (14/6/2022).
- Reglamento de Instalaciones Técnicas en los Edificios (RITE) (23/3/2021).
- Ley de Economía Sostenible (4/3/2011).
- Código de la vivienda de Navarra (actualizado a 25/11/2024).
- Plan general de ordenación urbana (PGOU) (31/05/2021).
- Normativa R01 (31/05/2021).

No se detectaron restricciones que afectasen a las características de diseño planteadas.

Por último, en el marco teórico, se profundizó en las condiciones que afectan a la iluminación natural en estancias como se resume en la Figura 1.

Figura 1. Iluminancia horizontal diurna en un espacio interior.



Fuente. Van Bommel, 2019, p. 322.

Nota. En rojo se representa una ventana lateral montada a la altura del plano de trabajo, en verde otra con las mismas dimensiones pero instalada más arriba, y en azul un tragaluz. Las curvas de estos mismos colores muestran la evolución de la iluminancia horizontal en cada caso.

La iluminancia horizontal cerca de una ventana es relativamente alta porque una gran parte del cielo es visible y la incidencia de la luz solar es prácticamente perpendicular a la superficie horizontal en esta posición. Sin embargo, desde posiciones más profundas en un edificio, una parte mucho más pequeña del cielo es

visible y la incidencia de la luz se vuelve mucho más paralela al plano horizontal. En consecuencia, la iluminancia horizontal en el plano de trabajo disminuye drásticamente con la profundidad de la habitación.

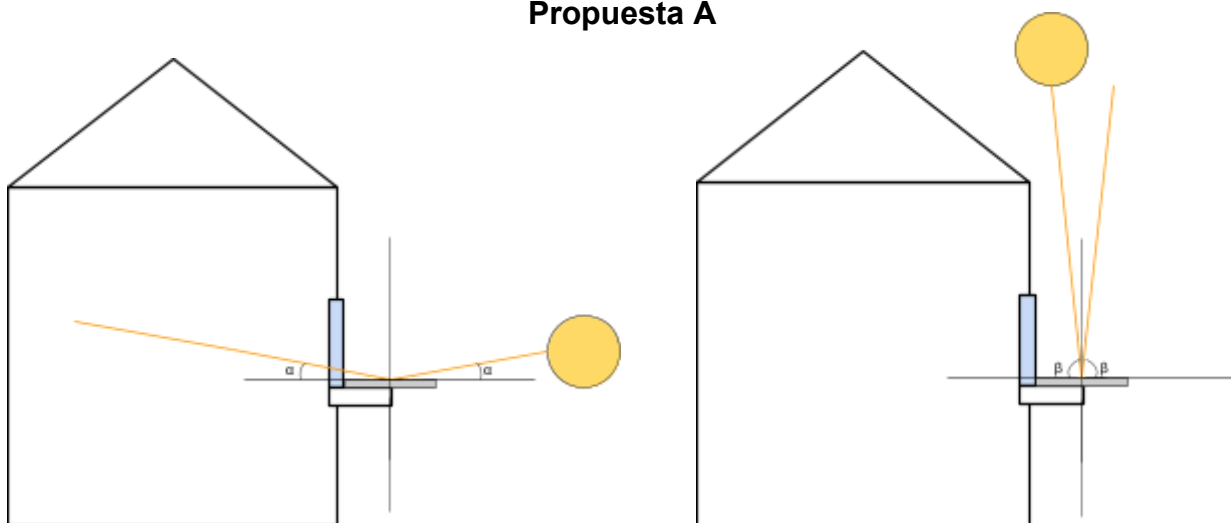
1.4.2. Diseño conceptual

A continuación, vienen detallados distintos diagramas hechos con la herramienta 'dibujo' integrada en los documentos de Google. En estos diagramas se puede observar una representación de una casa con una ventana, la cual tiene acoplada a ella un dispositivo que refleja la luz al interior de la vivienda. Cuando la luz incide sobre este aparato con un ángulo determinado, este la refleja con el mismo ángulo con el que ha entrado. Los distintos elementos representados en estos diagramas son: Casa: cuadrado y triángulo blancos; Ventana: rectángulo azul; Dispositivo: rectángulo gris; Repisa: rectángulo blanco; Sol: círculo amarillo; Rayos de luz: línea amarilla; Punto de apoyo: triángulo gris; Pistones: rectángulo negro.

En un principio se ideó que el dispositivo fuese una prolongación de la propia repisa, de tal forma que esta se extendiera unos centímetros hacia el exterior (Propuesta A). Sin embargo, se encontró que este diseño resultaba ineficaz durante las horas en las que el sol se encontraba con ángulos superiores a 90° con respecto a la repisa en sentido de la casa. Para resolver el problema advertido con el modelo A surgió la idea de inclinar el dispositivo un cierto número de grados con respecto al alféizar (Propuesta B). No obstante, esta solución resultó contraproducente, ya que, si bien se logró incrementar la iluminación pasados los anteriormente nombrados 90° , la cantidad de luz que se reflejaba hasta alcanzar dicho ángulo era nula. Posteriormente, para solucionar este problema, se decidió instalar unos pistones en la parte superior de la ventana, de tal forma que se pueda reajustar la inclinación de la superficie reflectante (Propuesta C). Aunque este nuevo modelo solucionó los problemas que tenían los modelos A y B, surgió un nuevo contratiempo: el peso. Este modelo probablemente no sería capaz de sostenerse, ya que la tensión que ejercerían los pistones no sería suficiente para contrarrestar el peso, por lo que este se vencería sobre el mismo.

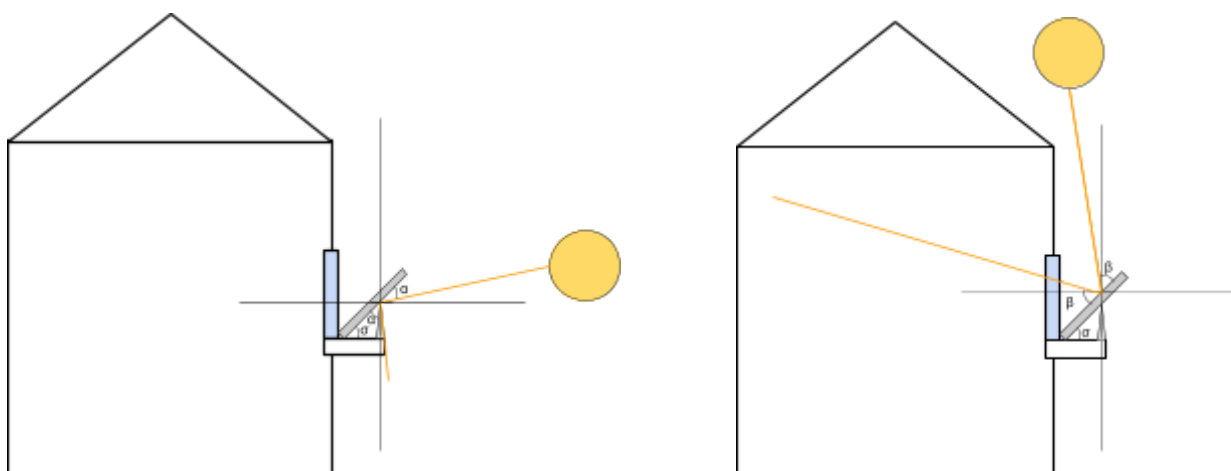
Figura 2. Esquemas de las propuestas de diseño elaboradas.

Propuesta A



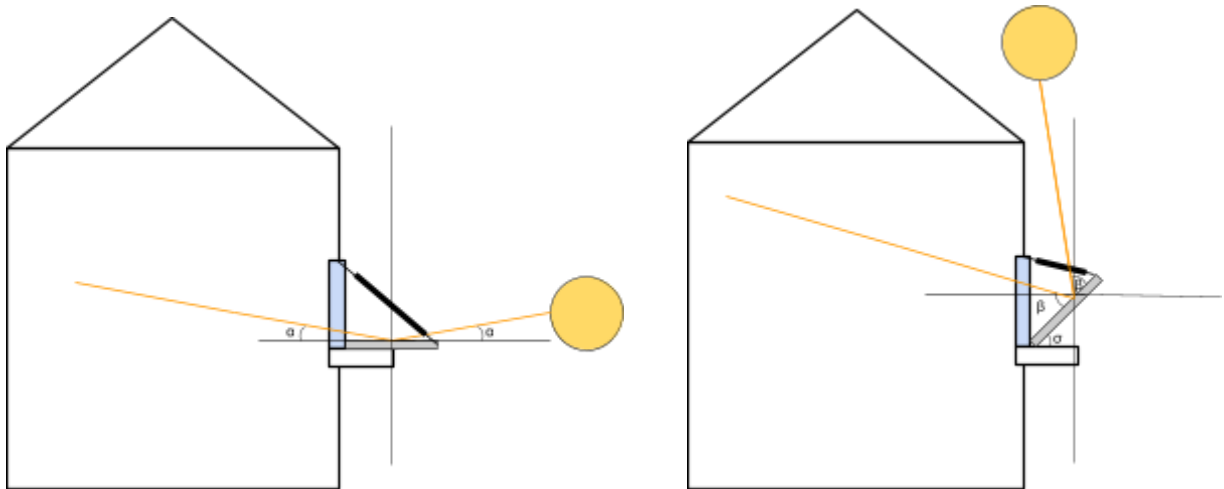
Nota. Diagrama de reflexión de la luz en el modelo A cuando el ángulo con el que incide la luz del sol (α) con el dispositivo es menor de 90° y cuando es mayor. Fuente. Elaboración propia.

Propuesta B



Nota. Diagrama de reflexión de la luz en el modelo B inclinado σ grados con respecto a la horizontal cuando el ángulo con el que incide la luz del sol (α) con el dispositivo es menor de 90° y cuando es mayor. Fuente. Elaboración propia.

Propuesta C



Nota. Diagrama de reflexión de la luz en el modelo C cuando el ángulo con el que incide la luz del sol (α) con el dispositivo es menor de 90° y cuando es mayor. Fuente. Elaboración propia.

1.4.3. Diseño preliminar

En la Figura 3 se pueden observar distintos vectores que representan las distintas fuerzas que actúan sobre el dispositivo en el modelo C. Estas fuerzas son: la tensión (morado) representa la fuerza que ejerce el pistón sobre el dispositivo. Esta está descompuesta en sus componentes en el eje X (color rojo) y en el eje Y (color azul); el peso (amarillo); y la fuerza normal (verde) representa la fuerza que ejerce la sujeción sobre el dispositivo. En primer lugar, el vector tensión del pistón en el eje X (T_x) tiene el mismo módulo y dirección que el vector fuerza normal (N), pero sus sentidos son opuestos. De forma más técnica, esto puede ser expresado de la siguiente manera:

$$\vec{T}_x = - \vec{N}$$

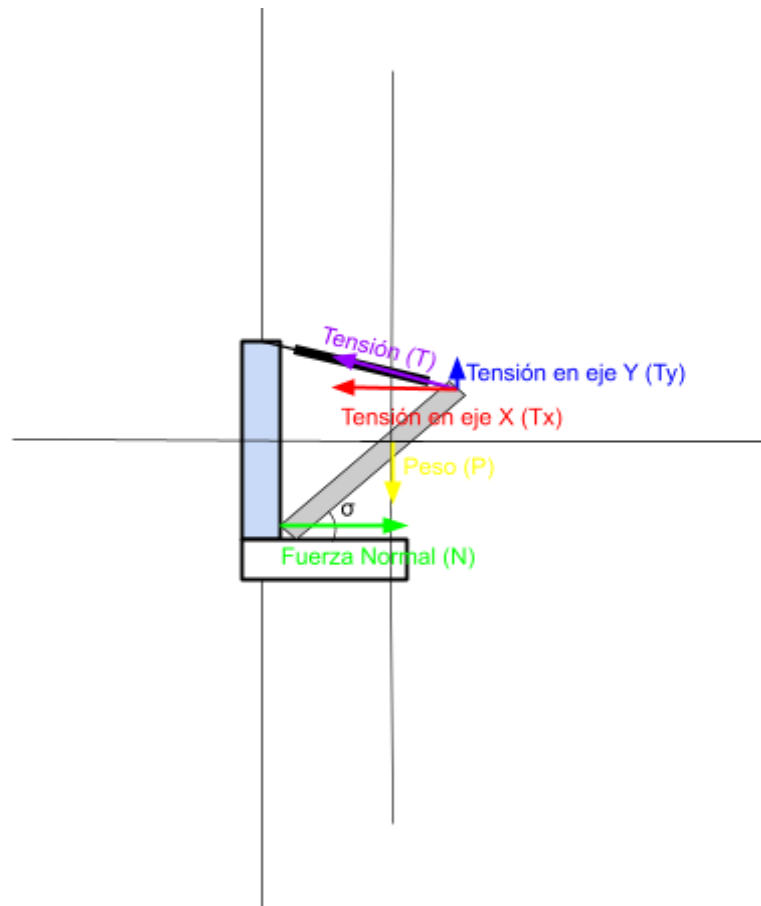
Esto implica que el sumatorio de las fuerzas en el eje X sería nulo, es decir, el dispositivo no sufriría ningún movimiento en el eje horizontal.

Al igual que pasa con los otros dos vectores, la dirección del vector peso (P) y del vector tensión en el eje Y (T_y) es la misma y sus sentidos son opuestos. Sin embargo, en este caso, el módulo del vector P es mayor que el del vector T_y , por lo que se produciría un momento (M) en sentido de las agujas del reloj, que haría que el dispositivo se venciera. De forma más técnica:

$$\vec{T}_y < -\vec{P} \Rightarrow \Sigma \vec{F}_y \neq 0 \Rightarrow \exists \vec{M} \mid \vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Finalmente, se ideó una forma de solucionar el problema del peso: dividir el dispositivo reflectante en una serie de láminas. Esto, además, logró que las ráfagas de viento no tiraran el producto, ya que estas atravesarían por los espacios entre las láminas. Este modelo, el D, sería el definitivo del producto.

Figura 3. Diagrama de fuerzas estimado del modelo C inclinado σ grados con respecto a la horizontal.



Fuente. Elaboración propia.

Se han considerado distintos materiales que podrían servir para la fabricación del producto. Mediante tabulación se compararon su precio medio, su durabilidad, o aguante a agentes corrosivos como la lluvia, su resistencia a impactos, y su reflectancia espectral, o la relación entre el flujo radiante que incide en una superficie y el flujo radiante reflejado en una única longitud de onda en condiciones de geometría fijas (Tabla 1).

Tabla 1. Comparativa de materiales.

Materiales		Precio ¹	Durabilidad (Resistencia a la corrosión)	Resistencia a impactos	Reflectancia espectral
PVC blanco		~9,2 €/m ²	Muy alta	Muy alta	75 - 85% ²
Chapadur prepintado blanco		~5 €/m ²	Variable	Alta	60 - 65%
Chapa galvanizada		29 - 70 €/m ²	Alta	Muy alta	65 - 75%
Acero inoxidable		~172 €/m ²	Muy alta	Muy alta	45 - 55%
Acero inoxidable pulido		53 - 70 €/m ²	Muy alta	Muy alta	80 - 70%
Chapa pintada de blanco	Nueva	2,5 - 12 €/L de pintura	Variable	Variable	70 - 85% ²
	Tras 2 años				65 - 75% ²
Aluminio		~92,26€/m ²	Alta	Alta	70 - 80%
Papel de aluminio		~17 €/m ²	Alta	Media	70 - 75%
Mylar		~3 €/m ²	Alta	Alta	85 - 95%
Espejo de vidrio	2mm espesor	~84 €/m ²	No presenta corrosión	Muy baja	87 - 95%
	3mm espesor	~107 €/m ²		Muy baja	85 - 93%
	4mm espesor	~145 €/m ²		Baja	82 - 92%
Cobre		~416.74 €/m ²	Baja	Alta	60 - 80%

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos de Echazú et al. (2000).

¹ Nota 1. Los precios se han consultado en el stock del mercado a fecha 1 de diciembre de 2024.

² Nota 2. Los materiales cuya reflectividad viene marcada con un asterisco tienen una reflectividad mucho menor en las longitudes de onda cercanas a los 400 nm, por lo que cojer la media entre los extremos daría lugar a errores estadísticos. Por ello, se ha utilizado la mediana para estas aproximaciones.

Los dos materiales que sobresalieron en dos o más ámbitos fueron el PVC blanco (en precio, en durabilidad y en resistencia a impactos) y el Mylar (en precio y reflectancia espectral). Se valoró que el Mylar, pese a tener una durabilidad y una resistencia a impactos algo peor que el PVC blanco, debería ser el material a utilizar para las láminas reflectantes del producto, por su bajo precio y alto índice de reflectividad espectral. Sin embargo, por su comportamiento, no resultaría útil para elaborar las láminas. Por ello, se ha decidido usar aluminio en su lugar, debido a su alta maleabilidad y ductilidad.



Para los soportes, se ha escogido el acero inoxidable. Este, pese a su elevado precio en comparación al resto, destaca por su durabilidad y resistencia muy elevadas. Este es comúnmente utilizado para hacer tuberías y soportes, por lo que debería poder resistir el peso del dispositivo con facilidad.

1.4.4. Diseño de detalle

El proceso de prototipado constó de dos fases sucesivas, una primera de modelado virtual 3D y una posterior de simulación por vídeo. Para la primera se realizaron varias etapas de iteración utilizando herramientas como Blender® para crear un modelo 3D detallado del producto. Este modelo permitió visualizar la configuración final, realizar simulaciones de iluminación y validar la funcionalidad mecánica. Un aspecto clave en esta fase de prototipado fue la geometría optimizada del dispositivo, especialmente de la superficie reflectante, que fue contrastada con curvas específicas para maximizar la distribución de luz en interiores. Los prototipos creados a partir del modelado 3D en las sucesivas etapas fueron sometidos a pruebas que evaluaran su rendimiento. Se obtuvieron estos resultados que afectaban al diseño y a la solución adoptada:

- Mejora de la iluminación natural en el interior. El dispositivo incrementó la iluminancia en estancias interiores. Dependiendo de las condiciones externas, este incremento podrá ser mayor o menor.
- Reducción del deslumbramiento (disconfort visual). La inclinación ajustable y la superficie tratada minimizan la sensación molesta producida por luminancias dentro del campo visual mayores a las que el sistema visual está acostumbrado, proporcionando una luz difusa y cómoda.
- Resistencia a agentes externos. El dispositivo, como se ha mencionado anteriormente, fue modificado para soportar vientos, cosa que el modelo B y C no eran capaces de hacer.

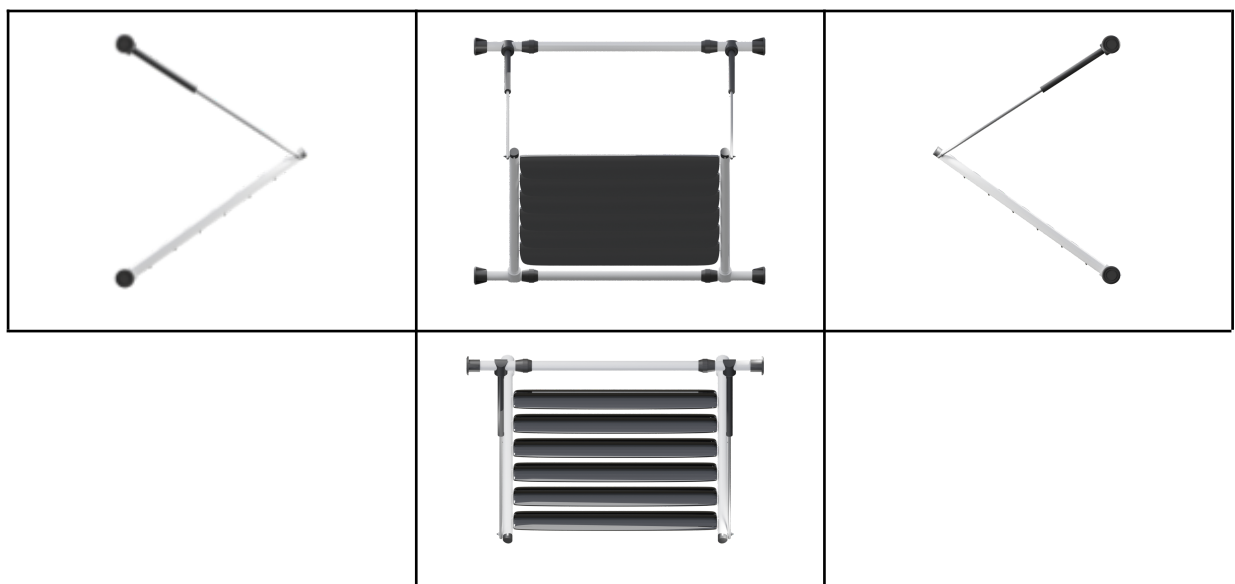
A continuación, en la Figura 4 se ilustra un modelado 3D del prototipo elaborado con la herramienta Blender®; y en la Figura 5 se encuentran las vistas de la planta, del alzado y del perfil del dispositivo.

Figura 4. Modelado 3D del prototipo.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 5. Vistas del alzado, la planta y el perfil del prototipo.



Fuente. Elaboración propia.

1.5. Conclusión

Se ha aplicado el esquema DAFO para realizar un examen del diseño final, porque permite considerar tanto un análisis interno de la solución de diseño adoptada



(Fortalezas y Debilidades) como llevar a cabo un análisis externo, que, en este caso, cubre aspectos relacionados con la viabilidad del proyecto.

El proyecto llevado a cabo, mediante la combinación del uso de la metodología de diseño de producto y de la investigación en ingeniería física, de materiales, mecánica e industrial, ha permitido crear un dispositivo que cumple con el reto de diseño principal y satisface los requerimientos establecidos en la fase preliminar (de usuario, de mercado y de normativa).

El diseño final propuesto, además de cumplir con los objetivos establecidos y los requerimientos considerados, tiene la ventaja de ofrecer posibilidades de desarrollo ulterior debido a la preferencia por la búsqueda de una solución simple y mecanizada, de bajo coste y fácil montaje.

1.5.1. Descripción general del producto

La solución desarrollada consiste en un dispositivo innovador creado ex novo para maximizar la entrada de luz natural en el interior de la vivienda. Ha sido concebido para integrarse de manera sencilla y sin instalación en el alféizar exterior de las ventanas, basado en un mecanismo físico de reflejo de la luz solar para redirigirla hacia el interior de las habitaciones. Al permitir regularse en función de la posición del sol, maximiza el tiempo de exposición a esta fuente natural de luz, incrementando el rendimiento del producto. Este diseño final combina principalmente eficiencia y funcionalidad, respondiendo por completo a los requerimientos identificados durante el proceso de investigación. El dispositivo consta de una superficie reflectante ajustable que redirige los rayos solares hacia el interior de la vivienda. Su estructura modular permite una fácil instalación y adaptación a distintas dimensiones de ventanas y ofrece resistencia a condiciones climáticas alternas.

1.5.2. Piezas

- Superficie reflectante: Fabricada con aluminio por sus destacadas capacidades. Esta superficie captura la luz solar y la redirige al interior. Consiste en 6 láminas de 10 x 90 cm con los laterales de los lados más largos



redondeados para maximizar la cantidad de luz que entra al interior de la vivienda. Su anchura es de 5 mm También tiene unas extensiones de diámetro 5 mm y longitud 5 cm que deben ser introducidas en la estructura de soporte de las láminas. El precio de cada una de las láminas es de unos 8,30 €, aproximadamente.

- Estructura de soporte a la ventana: Fabricada con acero inoxidable. Incluye un marco resistente que se fija al alféizar de la ventana. Consta de 2 cilindros de diámetro 25 mm y longitud adaptable en función de la anchura de la ventana (de 110 a 200 cm) mediante un mecanismo de ajuste de rosca. Este soporte garantiza estabilidad, y a él se acopla el mecanismo de ajuste. El precio de cada uno de estos cilindros es de unos 19,00 €.
- Estructura de soporte de las láminas: Fabricada con acero inoxidable. Incluye un marco resistente que rodea a la superficie reflectante. Consiste en 2 cilindros de diámetro 25 mm y de longitud 85 cm con agujeros cada 10 cm para insertar las láminas reflectantes. También hay un agujero al final de 5 mm de diámetro para atornillar el mecanismo de ajuste. Esta estructura de soporte es la encargada de proteger y sostener las láminas reflectantes. El precio de cada uno de estos cilindros es de unos 23,50 €.
- Mecanismo de ajuste: Utiliza 2 pistones que facilitan la regulación del ángulo de inclinación, asegurando un rendimiento óptimo en diferentes momentos del día y estaciones del año. Su funcionamiento está basado en un sistema de ajuste gracias a un pin ubicado en la parte fina que se inserta en diversos agujeros (cada 5 cm) que tiene la parte ancha. La longitud de la parte ancha es de 30 cm, y su diámetro es de 25 mm. La longitud de la parte fina es de 50 cm, y su diámetro es de 10 mm para la parte fina. Estos se extienden un máximo de 75 cm y se pueden acortar hasta los 50 cm. El precio de cada uno de estos pistones es de unos 11.80 €.
- Componentes de ensamblaje: Los componentes incluyen elementos de fijación y sellado que garantizan seguridad y durabilidad. Consta de 4 uniones en T que sirven para unir la estructura de soporte a la ventana con la estructura de soporte de las láminas y con el mecanismo de ajuste (diámetro 25 mm); y de 2 tornillos lisos con cabeza hexagonal (longitud 25 mm, diámetro 5). El precio de cada una de las uniones en T es de unos 3,40 € y el de cada uno de los dos tornillos es de unos 0,10 €.



- El precio total aproximado sería de unos 172,20 €.

1.5.3. Montaje

Para llevar a cabo el montaje del dispositivo en una ventana se ha de seguir el siguiente proceso:

1. Insertar las uniones universales en cada uno de los extremos de los cilindros de la estructura de soporte a la ventana.
2. Insertar los remaches en cada uno de los extremos de la estructura de soporte a la ventana.
3. Fijar ambas estructuras de soporte en las partes inferior y superior del marco de la ventana gracias al mecanismo de alargarlo.
4. Acoplar las estructuras de soporte de las láminas a las uniones universales de la estructura de soporte de las láminas inferiores.
5. Unir el mecanismo de ajuste tanto a la estructura de soporte de las láminas como a la estructura de soporte a la ventana superior, gracias a los tornillos y a las uniones universales, respectivamente.

Bibliografía

- Akram, M. W., Hasannuzaman, M., Cuce, E., & Cuce, P. M. (2023). Global technological advancement and challenges of glazed window, facade system and vertical greenery-based energy savings in buildings: A comprehensive review. *Energy and Built Environment*, 4(2), 206-226.
- Garvin, D. A. (1984). What Does 'Product Quality' Really Mean? *Sloan management review*, 25, 25-43.
- Kim, J. T., & Kim, G. (2010). Overview and new developments in optical daylighting systems for building a healthy indoor environment. *Building and environment*, 45(2), 256-269.
- Mardaljevic, J. (2013). Daylight, Indoor Illumination and Human Behaviour. En Loftness, V., y Haase, D., eds., *Sustainable Built Environments* (pp. 69-111). New York, NY, US: Springer.

- Nair, M. G., Ramamurthy, K., & Ganesan, A. R. (2014). Classification of indoor daylight enhancement systems. *Lighting Research & Technology*, 46(3), 245-267.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México DF, MX: McGraw-Hill Interamericana.
- Onubogu, N. O., Chong, K. K., & Tan, M. H. (2021). Review of active and passive daylighting technologies for sustainable building. *International Journal of Photoenergy*, 1-29.
- Ruggiero, S., Iannantuono, M., Fotopoulou, A., Papadaki, D., Assimakopoulos, M. N., De Masi, R. F., Vanoli, G. P., & Ferrante, A. (2022). Multi-Objective Optimization for Cooling and Interior Natural Lighting in Buildings for Sustainable Renovation. *Sustainability (Basel)*, 14(13), 8001. <https://doi.org/10.3390/su14138001>
- Sulli, G., Lam, M. T. Y., & Panda, S. (2019). Interplay between Circadian Clock and Cancer: New Frontiers for Cancer Treatment. *Trends In Cancer*, 5(8), 475-494. <https://doi.org/10.1016/j.trecan.2019.07.002>
- Ulrich, T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Van Bommel, W. (2019). *Interior Lighting: Fundamentals, Technology and Application*. Cham, CH: Springer International Publishing.
- Webb, A. R. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. *Energy And Buildings*, 38(7), 721-727.
- Yamin, J., & Pattini, A. (2022). Confort visual en espacios interiores iluminados con luz natural en climas soleados. Modelos teóricos y valoraciones subjetivas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 17-23.