



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas

Autor:

Megido Domínguez, Isabel

Tutor(es):

**Zulueta Pérez, Patricia Beatriz
CMeIM/EGI/ICGF/IM/IPF**

**Herráez Sánchez, Marta
CMeIM/EGI/ICGF/IM/IPF**

Valladolid, septiembre de 2020

RESUMEN

En este trabajo de fin de grado se va a presentar la propuesta de un sistema de oscurecimiento para ser instalado en un edificio de aulas universitarias situado en la ciudad de Valladolid. El proyecto surge de la necesidad de limitar la entrada de luz en las clases para evitar molestias que esta puede causar en los usuarios.

En una primera etapa se lleva a cabo un estudio solar del edificio para determinar las horas en las que el sol incide en cada aula. A partir de estos datos se desarrolla un sistema de oscurecimiento que tiene como objetivo a mayores aprovechar la radiación solar incidente.

El resultado final del trabajo es un sistema compuesto por lamas verticales orientables capaz de captar luz solar para obtener energía eléctrica mediante la incorporación de placas fotovoltaicas.

PALARAS CLAVE

Oscurecimiento, radiación, energía solar, panel fotovoltaico, lama vertical.

ABSTRACT

This final degree project is a proposal of a darkening system to be installed in a university classroom building located in the city of Valladolid.

The first stage is a solar study to determine the times in which the sun affects each classroom. With this data taken into account, a darkening system is developed with the additional objective of using solar radiation.

The result of this final project is a system of adjustable vertical slats that are able to pick up solar light to obtain solar energy through photovoltaic panels.

KEYWORDS

Darkening, radiation, solar energy, photovoltaic panel, vertical slat.

ÍNDICE

Capítulo 1. Justificación y objetivos del proyecto.....	9
1.1. Introducción	11
1.2. Justificación	11
1.3. Objetivos.....	12
1.4. Estructura del proyecto	13
Capítulo 2. Bases teóricas.....	17
2.1. Radiación térmica	19
2.1.1. Conceptos básicos de radiación.....	20
2.1.2. Leyes de la radiación	20
2.2. Radiación y energía solar.....	22
2.2.1. Paneles fotovoltaicos	24
2.2.1.1 paneles fotovoltaicos monocristalinos.....	25
2.2.1.2. Paneles fotovoltaicos policristalinos	25
2.2.1.3. Paneles fotovoltaicos amorfos	26
2.2.2. Colectores solares.....	27
2.3. Certificado LEED.....	27
2.4. Certificado WELL	28
2.5. Certificado VERDE	29
Capítulo 3. Desarrollo de la propuesta.....	33
3.1. Datos de partida.....	35
3.1.1. Descripción del edificio	35
3.1.2. Estudio solar.....	38
3.1.2.1. Estudio solar en el primer cuatrimestre	39
3.1.2.2. Estudio solar en el segundo cuatrimestre	48
3.1.2.3. Conclusiones del estudio solar	59
3.2. Patentes.....	60

ÍNDICE

3.3. Aproximación al estudio de mercado.....	61
3.4. Pliego de condiciones	64
3.5. Proceso de diseño	66
3.5.1. Componentes del sistema	66
3.5.2. Mecanismo de orientación.....	72
3.5.3. Análisis mecánico	75
3.5.3.1. Valores obtenidos	77
3.5.3.1. Conclusiones del análisis mecánico	80
3.5.4. Conexión de placas.....	80
3.6. Propuesta final	83
Capítulo 4. Análisis de costes.....	89
4.1. Introducción al análisis de costes	91
4.2. Coste de fabricación.....	91
4.2.1. Material.....	91
4.2.2. Mano de obra directa	92
4.2.3. Puesto de trabajo	94
4.3. Mano de obra indirecta.....	94
4.4. Cargas sociales.....	94
4.5. Gastos generales	95
4.6. Coste total en fábrica.....	95
4.7. Beneficio industrial.....	95
4.6. Precio de venta en fábrica.....	95
Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras.....	97
5.1. Conclusiones del proyecto	99
5.2. Líneas futuras	100
Capítulo 6. Bibliografía.....	103
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de uno de los niveles del edificio de aulas	12
Figura 2. Esquema de las tres propiedades.....	19
Figura 3. Coordenadas que definen la posición del sol [7]	23
Figura 4. Paneles fotovoltaicos de tipo monocristalino [9]	24
Figura 5. Celda monocristalina [14]	25
Figura 6. Celda policristalina [15]	26
Figura 7. Celda de silicio amorfo [20]	27
Figura 8. Fachada 1 de aulas del edificio. Aulas 1 y 2.....	35
Figura 9. Fachada 2 de aulas del edificio. Aulas 3 y 4.....	36
Figura 10. Orientación del edificio respecto al norte real.....	36
Figura 11. Distribución de mobiliario en las aulas	37
Figura 12. Calendario académico 2018 – 2019 [25].....	38
Figura 13. Recorrido del sol 12/09/2018	39
Figura 14. Recorrido del sol 26/09/2018	40
Figura 15. Recorrido del sol 10/10/2018	41
Figura 16. Recorrido del sol 24/10/2018	42
Figura 17. Recorrido del sol 7/11/2018	43
Figura 18. Recorrido del sol 21/11/2018	44
Figura 19. Recorrido del sol 5/12/2018	45
Figura 20. Recorrido del sol 19/12/2018	46
Figura 21. Recorrido del sol 16/01/2019	47
Figura 22. Recorrido del sol 30/01/2019	48
Figura 23. Recorrido del sol 6/02/2019	49
Figura 24. Recorrido del sol 20/02/2019	50
Figura 25. Recorrido del sol 6/03/2019	51
Figura 26. Recorrido del sol 20/03/2019	52
Figura 27. Recorrido del sol 3/04/2019	53
Figura 28. Recorrido del sol 26/04/2019	54

ÍNDICE

Figura 29. Recorrido del sol 8/05/2019	55
Figura 30. Recorrido del sol 22/05/2019	56
Figura 31. Recorrido del sol 5/06/2019	57
Figura 32. Recorrido del sol 19/06/2019	58
Figura 33. Ventana con persiana enrollable [31]	62
Figura 34. Estor traslucido enrollable automático [32]	62
Figura 35. Cortina de lamas horizontales orientables [33]	63
Figura 36. Cortina de lamas verticales orientables [34]	63
Figura 37. Lama orientable del sistema de control solar. Detalle de la parte superior y alojamiento de la placa fotovoltaica.....	67
Figura 38. Detalle de taladros para los tiradores en las lamas de extremos	68
Figura 39. Placa fotovoltaica flexible de silicio amorfo	68
Figura 40. Soporte visto desde arriba	69
Figura 41. Soporte visto desde abajo	69
Figura 42. Taco y perno para el anclaje al techo del soporte [39] ..	70
Figura 43. Taco cónico para hacer de tope en la corredera	70
Figura 44. Tirador para abatir las lamas	71
Figura 45. Correa de caucho para unión de lamas	71
Figura 46. Pieza para anclaje de cables	71
Figura 47. Etapas de movimiento de las correderas hasta un giro de 90°	72
Figura 48. Unión de lamas en cada módulo mediante correas.....	73
Figura 49. Tiradores de lama en el extremo de cada módulo	73
Figura 50. Colocación de tacos para restringir el giro en las correderas.....	74
Figura 51. Sujeción de cables en el soporte en la zona lateral	74
Figura 52. Sujeción de cables en el soporte en la zona del techo ..	75
Figura 53. Restricción fija en la cara superior del soporte.....	76
Figura 54. Fuerzas aplicadas en el soporte.....	77

Figura 55. Tensión de Von Mises.....	78
Figura 56. Desplazamiento máximo	79
Figura 57. Coeficiente de seguridad	79
Figura 58. Tasas de convergencia	80
Figura 59. Conectores MC4 dobles [40]	81
Figura 60. Esquema de conexión de elementos después de las placas	82
Figura 61. Esquema de la conexión de placas en paralelo	82
Figura 62. Módulo con placas en todas las lamas	83
Figura 63. Módulo con lamas abiertas	84
Figura 64. Módulo con lamas abiertas y cerradas. Vista desde interior del aula.....	84
Figura 65. Aula con lamas cerradas	85
Figura 66. Vista del sistema desde el exterior con lamas cerradas ..	85
Figura 67. Aula con lamas cerradas y abiertas.....	86
Figura 68. Vista del sistema desde el exterior con lamas abiertas y cerradas	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del policarbonato compacto de control solar [35] [36] [37]	64
Tabla 2. Propiedades del acero de construcción S235JR [38]	65
Tabla 3. Valores resultados de la simulación.....	78
Tabla 4. Número de piezas a fabricar	91
Tabla 5. Coste de material para fabricación.....	91
Tabla 6. Coste de material ya elaborado	92
Tabla 7. Coste mano de obra directa.....	93
Tabla 8. Coste del puesto de trabajo.....	94

CAPÍTULO 1

Justificación y objetivos del proyecto

1.1. Introducción	11
1.2. Justificación	11
1.3. Objetivos.....	12
1.4. Estructura del proyecto	13

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

La docencia es una actividad que se ejerce durante cualquier etapa del año en nuestra sociedad. Concretamente el año lectivo de enseñanzas universitarias abarca desde el mes de septiembre hasta el mes de julio, es decir, esta actividad es llevada a cabo durante un período de tiempo en el que las condiciones climáticas exteriores varían en los extremos de verano e invierno.

Durante el curso 2018/2019 el número de estudiantes matriculados en universidades de España estaba en torno a 1 600 000 personas [1], lo que supone un gran número de alumnos universitarios en el país y lleva a la preocupación por que la enseñanza en las aulas de las universidades pueda llevarse a cabo adecuadamente.

El entorno en el que se ejerce la actividad de docencia es muy importante para que tanto los alumnos como el profesor puedan tener un rendimiento adecuado durante el horario lectivo. Es por eso que para el desarrollo de edificios de aulas se deben tener en cuenta aspectos como pueden ser la calidad del aire, la sensación de confort, iluminación u oscurecimiento. La parte del oscurecimiento del aula juega un papel cada vez más esencial en los últimos años, ya que gran parte de las clases se imparten mediante proyección de documentos, diapositivas o imágenes en pantallas, así como también se está extendiendo el uso de pizarras digitales.

En este proyecto centrará la atención en la importancia del oscurecimiento de un edificio de aulas en el que se realizará actividad docente de enseñanzas universitarias en la ciudad de Valladolid. Para ello se propondrá un sistema de oscurecimiento que facilite esta actividad evitando que el exceso de entrada de luz o radiación solar en el aula provoque una reducción del rendimiento de las personas que se encuentran en el interior.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto surge de la necesidad de instalar un sistema de oscurecimiento en un edificio de aulas en la ciudad de Valladolid destinado a la actividad docente de enseñanzas universitarias.

El exceso de iluminación natural en un aula puede ser un inconveniente para seguir las clases a pleno rendimiento y da lugar a problemas para visualizar los contenidos proyectados por el profesor. De la misma forma, la entrada de radiación solar crea una sensación incómoda para la vista e interviene en la sensación de confort de la persona, sobre todo cuando esta radiación entra durante períodos calurosos del año.

La incidencia de la radiación solar en el aula puede dar lugar a gastos mayores de energía cuando es necesario enfriar el ambiente, es decir, durante los períodos del año en los que la temperatura exterior es mayor que la que se

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

desea tener en el interior y el sol calienta con más fuerza. De forma contraria ocurre en los meses en los que se desea calentar el interior de las aulas y es necesario oscurecer la misma, la energía del sol se podría estar utilizando para ahorrar energía de calefacción.

El edificio del que se va a partir en este trabajo para desarrollar un sistema de oscurecimiento tiene 5 plantas además de la planta baja. Todos los niveles del edificio tienen la misma distribución de espacios. Cada planta consta de 4 aulas con las paredes exteriores acristaladas, dos de ellas con orientación hacia el noreste y las otras dos hacia el suroeste. Estas paredes acristaladas serán el objeto de estudio durante este proyecto.

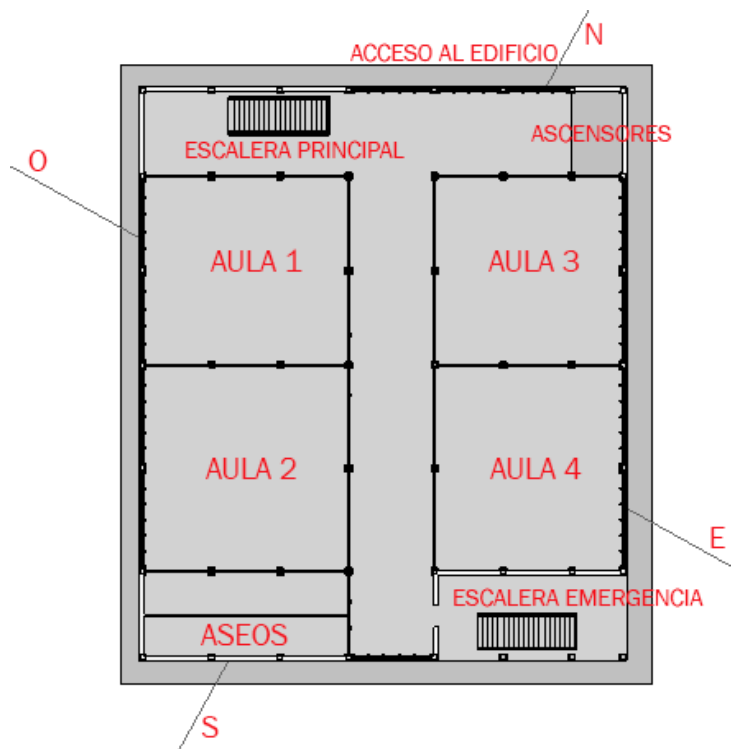


Figura 1. Planta de uno de los niveles del edificio de aulas

A lo largo del trabajo se llevará a cabo en una primera etapa un estudio solar para el edificio de aulas durante el período lectivo del curso 2018 – 2019 y a partir de él se irá desarrollando la propuesta final del sistema de oscurecimiento para estos espacios.

1.3. OBJETIVOS

A la hora de comenzar con el proyecto, se deben buscar unos objetivos claros a cumplir, y que a través de su cumplimiento se pueda llegar a una solución al problema lo más adecuada posible. Estos objetivos deben ser alcanzables y compatibles entre ellos, ya que no conviene que se descarten unos debido a la incompatibilidad con otros.

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Como ya se ha justificado anteriormente, en este proyecto se propondrá un sistema que permita el control del oscurecimiento de un edificio de aulas destinadas a la docencia. De esta forma se fijan los siguientes objetivos a cumplir:

→ Que el sistema de oscurecimiento cumpla con su función correctamente.

El sistema debe proporcionar una buena visión en el aula de forma que el oscurecimiento no sea excesivo ni pobre y pueda dar lugar a fatiga visual en los alumnos o el profesor.

→ Que la energía solar que incida sobre el sistema propuesto pueda ser almacenada y aprovechada.

→ Que el sistema propuesto tenga características que favorezcan la certificación LEED del edificio.

Dentro de todos los aspectos que se contemplan para que un edificio obtenga puntuación para tener esta certificación, aquellos que puedan formar parte del sistema de oscurecimiento serán tenidos en cuenta durante el desarrollo de la propuesta.

→ Que el sistema propuesto tenga características que favorezcan la certificación WELL del edificio.

Del mismo modo, dentro de los aspectos que se contemplan se tendrán en cuenta aquellos que puedan contribuir a la obtención de esta certificación durante el desarrollo de la propuesta.

→ Que el sistema propuesto tenga características que favorezcan la certificación VERDE del edificio.

Del mismo modo, dentro de los aspectos que se contemplan se tendrán en cuenta aquellos que puedan contribuir a la obtención de esta certificación durante el desarrollo de la propuesta.

→ Que el coste del sistema de oscurecimiento sea asequible para ser instalado en las aulas del edificio.

El coste es un aspecto que se debe tener en cuenta en el desarrollo de todo proyecto, ya que puede determinar si la propuesta es algo alcanzable para ser fabricado y comercializado en un futuro.

1.4. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto se va a dividir en los siguientes capítulos que seguirán al actual:

→ **Capítulo 2.** Bases Teóricas.

Se presentan las bases teóricas sobre las que se apoya el proyecto.

1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

→ **Capítulo 3.** Desarrollo de la propuesta.

A partir de unos datos iniciales, se presenta el proceso llevado a cabo para obtener el sistema de oscurecimiento.

→ **Capítulo 4.** Análisis de costes.

En este capítulo se determinará el coste del sistema de oscurecimiento propuesto.

→ **Capítulo 5.** Conclusiones y líneas futuras.

Se redactan una serie de conclusiones con respecto a los objetivos fijados al comienzo del proyecto, así como las líneas de investigación que se pueden seguir en un futuro gracias a la realización de este trabajo.

→ **Capítulo 6.** Bibliografía.

→ **Anexos.**

CAPÍTULO 2

Bases teóricas

2.1. Radiación térmica	19
2.1.1. Conceptos básicos de radiación.....	20
2.1.2. Leyes de la radiación	20
2.2. Radiación y energía solar.....	22
2.2.1. Paneles fotovoltaicos	24
2.2.1.1 paneles fotovoltaicos monocristalinos.....	25
2.2.1.2. Paneles fotovoltaicos policristalinos	25
2.2.1.3. Paneles fotovoltaicos amorfos	26
2.2.2. Colectores solares.....	27
2.3. Certificado LEED.....	27
2.4. Certificado WELL	28
2.5. Certificado VERDE	29

2.1. RADIACIÓN TÉRMICA

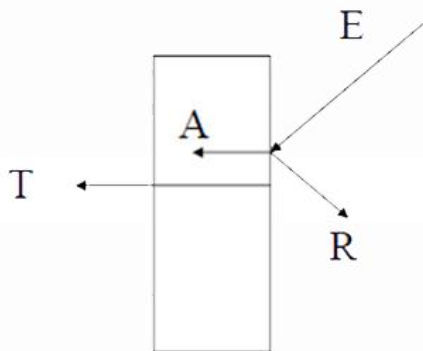
La transmisión de calor por radiación es una de las formas de transmisión de calor junto con la conducción y convección. La radiación térmica es radiación electromagnética que emite un cuerpo debido a su temperatura. Esta se transmite en forma de fotones (partículas elementales que componen la luz y que portan radiación electromagnética [2]) con la velocidad de la luz, y su comportamiento es el de una onda. Para transmitir calor por radiación no se requiere un incremento de temperatura del cuerpo, ya que un cuerpo emite radiación siempre que su temperatura sea mayor que 0 K. Como es sabido, el flujo de calor neto se produce del foco más caliente al foco más frío [3].

Un cuerpo puede comportarse de tres formas distintas al recibir energía por radiación: puede absorberla, reflejarla o transmitirla. Estas tres formas de comportamiento dan lugar a tres propiedades [3]:

→ Absortancia: Fracción de radiación que es absorbida por el cuerpo. Representada por la letra α .

→ Reflectancia: Fracción de radiación que es reflejada por el cuerpo. Representada por la letra ρ .

→ Transmitancia: Fracción de radiación que es transmitida por el cuerpo. Representada por la letra τ .



De esta forma la energía de radiación que incide sobre un cuerpo (E) es igual a lo que absorbe (A), lo que refleja (R) y lo que transmite (T).

$$E = A + R + T \quad \text{Ec. 1}$$

Como las propiedades están expresadas en fracción:

$$1 = \frac{A}{E} + \frac{R}{E} + \frac{T}{E} \quad \text{Ec. 2}$$

Figura 2. Esquema de las tres propiedades de un cuerpo al recibir radiación [3].

Obteniendo la expresión:

$$1 = \alpha + \rho + \tau \quad \text{Ec. 3}$$

Se definen cuatro tipos de cuerpo en función de sus propiedades en cuanto al comportamiento frente a la radiación:

→ Cuerpo opaco. Es aquel que no transmite la radiación, es decir, su transmitancia es 0 ($\alpha + \rho = 1$).

2. BASES TEÓRICAS

→ Cuerpo negro. Es aquel que absorbe toda la radiación que incide sobre él, siendo nulas reflectancia y transmitancia ($\alpha = 1$).

→ Cuerpo blanco. Aquel que refleja toda la radiación, siendo absortancia y transmitancia 0 ($\rho = 1$).

→ Cuerpo transparente. Aquel que transmite toda la radiación siendo absortancia y reflectancia 0 ($\tau = 1$).

2.1.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIACIÓN

Los siguientes conceptos son necesarios para poder comprender el apartado que sigue a este:

→ Espectro electromagnético. Rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles, en este caso de la radiación térmica [4].

→ Espectro continuo, térmico o de cuerpo negro. Es aquel emitido por cualquier cuerpo que irradie calor por radiación [5].

→ Emitancia o emisividad monocromática (W_λ). Cantidad de radiación con longitud de onda λ que emite un cuerpo por unidad de área y tiempo. Para un cuerpo negro se indica con el subíndice n ($W_{\lambda,n}$) [3].

→ Irradiancia o irradiación (G, E, I) [W/m^2]. Radiación incidente sobre una superficie [1].

→ Emitancia o potencia emisiva (W, E) [W/m^2]. Cantidad total de radiación que emite un cuerpo por unidad de área y tiempo debida a su nivel térmico. Para un cuerpo negro vendrá dada por la expresión siguiente [2]:

$$W_n = \int_0^\infty W_{n\lambda} d\lambda \quad Ec. 4$$

→ Radiosidad (J) [W/m^2]. Radiación total emitida por una superficie. Esta radiación es la suma de la emitancia más la parte reflejada de la irradiancia [3].

→ Cuerpo gris. Es un cuerpo que tiene una emitancia monocromática (ε) independiente de la longitud de onda, es decir, se mantiene constante a lo largo de todo el espectro. Esta emitancia se define como el cociente entre la emitancia monocromática y la del cuerpo negro con la mism longitud de onda [3].

$$\varepsilon = \frac{W_\lambda}{W_{\lambda,n}} = f(T, \lambda) \quad Ec. 5$$

2.1.2. LEYES DE LA RADIACIÓN

Las leyes de la radiación que se van a presentar se definen para sustancias con emisión de espectro continuo (espectro térmico) [3].

→ *Ley de Prevost*. Todo cuerpo cuya temperatura sea mayor de 0 K emite radiación. La radiación es mayor cuanto mayor sea su temperatura termodinámica y es independiente de la naturaleza temperatura y forma de los cuerpos que lo rodean.

→ *Ley de Planck*. La emitancia monocromática de un cuerpo negro depende, además de la longitud de onda, de la temperatura absoluta a la que se encuentra el cuerpo. Planck descubrió la ecuación que da como resultado la emitancia monocromática de un cuerpo negro, siendo esta:

$$W_{\lambda,n} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1} \quad \text{Ec. 6}$$

$$C_1 = 2\pi h c^2 = 3,7403 \cdot 10^8 \frac{W \cdot \mu m^4}{m^2}$$

$$C_2 = \frac{hc}{k} = 1,4387 \cdot 10^4 \mu m \cdot K$$

$$h: \text{Constante de Planck } 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c: \text{Velocidad de la luz } 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$k: \text{Constante de Boltzmann } 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ J/molK}$$

→ *Ley de desplazamiento de Wien*. La longitud de onda correspondiente a la máxima emisividad monocromática es inversamente proporcional a la temperatura absoluta. La expresión matemática del máximo se obtiene aplicando la condición de máximo al producto de $\lambda \cdot T$ en la ecuación de Planck (Ec.6).

$$T \lambda_{m\acute{a}x} = C_2/5 = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK} \quad \text{Ec. 7}$$

→ *Ley de Stefan - Boltzmann*. La potencia emisiva desde la superficie de un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

$$W_n = \sigma T^4 \quad \text{Ec. 8}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$$

Para generalizar esta ley y poder aplicarla a otros cuerpos que no sean negros se utiliza el concepto de cuerpo gris. Así la *Ley de Stefan - Boltzmann generalizada* es: La potencia emisiva de un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta y emitancia.

$$W = \sigma \epsilon T^4 \quad \text{Ec. 9}$$

→ *Ley de Kirchhoff*. Todo cuerpo es capaz de absorber las radiaciones con la misma longitud de onda que las que él mismo emite. De esta forma, para que haya equilibrio térmico en un conjunto cerrado y aislado todos los elementos del conjunto tienen que tener la misma temperatura. Esto ocurre cuando la

2. BASES TEÓRICAS

energía absorbida por cada uno es igual a la emitida para una determinada longitud de onda ($\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$).

→ *Ley de Lambert o de la radiación difusa*. Un cuerpo que emite radiación lo hace en todas las direcciones y con la misma intensidad, siendo la intensidad de radiación la energía emitida por un cuerpo por unidad de tiempo y ángulo sólido.

2.2. RADIACIÓN Y ENERGÍA SOLAR

Como es sabido, la radiación solar es necesaria para que exista vida en la tierra. La energía que proviene del sol e incide en la tierra se divide en porcentajes según lo que ocurre con ella a su llegada: el 30% de la energía es devuelta por reflexión; el 47% es calor para la atmósfera, suelo y mares; el 23% se encarga de la evaporación de agua (mares, lagos y ríos). De estos porcentajes, el 0,2% se encarga de los movimientos de circulación entre atmosfera y océanos y el 0,02% es destinado a la producción de materia viviente (fotosíntesis de las plantas) [3].

La radiación solar es tan importante que es necesaria para muchos de los tipos de producción de energía: biomasa, energía eólica, energía hidráulica, energía oceánica, energía maremotriz, energía geotérmica, combustibles fósiles y por supuesto energía solar [3].

El sol se considera un cuerpo negro. Es una fuente de radiación aproximadamente esférica, con un diámetro de $1,392 \cdot 10^9 \text{ m}$, y su distancia media a la tierra es aproximadamente de $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$. La temperatura del sol alcanza los millones de grados en su núcleo y en la superficie es de 5762 K [3]. A partir de estos datos se puede obtener el valor de la potencia emisiva del sol aplicando la Ley de Stefan – Boltzmann (ec. 9).

$$W_{sol} = \sigma S_{sol} \epsilon T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \pi (1,392 \cdot 10^9)^2 \cdot 1 \cdot 5762^4 = 3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

Y dividiendo la potencia entre la superficie de la órbita terrestre se obtiene el valor de la irradiancia del sol en la tierra:

$$I_{sol} = \frac{W_{sol}}{S_{órbita \text{ terrestre}}} = \frac{3,8 \cdot 10^{26}}{4 \cdot \pi \cdot (1,5 \cdot 10^{11})^2} = 1344 \text{ W/m}^2 \sim 1350 \text{ W/m}^2$$

TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR

La atmósfera juega un papel importante en la llegada de la radiación solar a la tierra, ya que puede comportarse transmitiendo, reflejando o transmitiendo esta energía [3]. Existen tres tipos de radiación solar debido a estos efectos de la atmósfera sobre ella [6]:

2. BASES TEÓRICAS

→ Radiación solar directa o incidente: Es aquella que incide directamente sobre la superficie y depende de la orientación de las superficies exteriores de la latitud y de la trayectoria del sol. Este tipo de radiación es mayor en los días despejados.

→ Radiación solar difusa: Es aquella que es reflejada por la atmósfera. Es mayor en los días nublados. Bajo un cielo sin nubes la radiación difusa sobre una superficie horizontal es alrededor del 10% de la directa.

→ Radiación solar reflejada: Es la parte de directa y difusa que se refleja en la superficie terrestre y depende del tipo de superficie y su reflectancia (arena, agua...etc).

COORDENADAS DE POSICIÓN DEL SOL

Para definir la posición exacta del sol y utilizarla en los estudios se especifican dos coordenadas que la determinan [7]:

→ Azimut: Es el ángulo que forma con el norte en el sentido de las agujas del reloj y alrededor del horizonte del observador.

→ Elevación: Distancia angular en vertical que hay entre el sol y el horizonte del observador u objeto.

Mediante estas dos coordenadas queda definida la orientación del sol en un determinado instante y el ángulo de incidencia con respecto a la superficie horizontal.

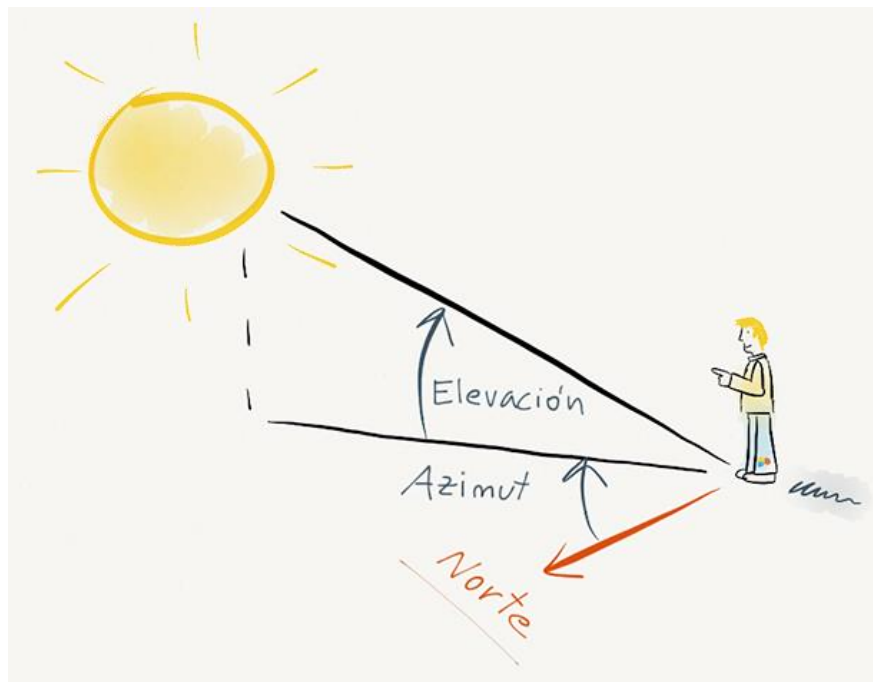


Figura 3. Coordenadas que definen la posición del sol [7]

2. BASES TEÓRICAS

PLACAS SOLARES

Las placas solares son dispositivos en forma de panel que son capaces de aprovechar la radiación solar que incide sobre ellos. Se distinguen dos tipos principales en función de la forma de energía que se obtiene de ellos: paneles fotovoltaicos y colectores solares. De los primeros se obtiene energía eléctrica, mientras que de los segundos se obtiene energía térmica. Actualmente también existen en el mercado los llamados paneles solares híbridos, que son capaces de obtener tanto energía eléctrica como térmica.

Un concepto importante a tener en cuenta es el de rendimiento de la placa.

En los siguientes apartados se explicará el funcionamiento de cada uno de los dos tipos principales.

2.2.1. PANELES FOTOVOLTAICOS

Como se ha mencionado anteriormente, los paneles fotovoltaicos o placas fotovoltaicas son uno de los elementos principales utilizados para el aprovechamiento de la energía solar. Estos componentes consisten en unas planchas que tienen la capacidad de transformar la luz del sol en energía



eléctrica. Este tipo de paneles están formados por varias células, denominadas células fotovoltaicas, que se colocan conectadas entre sí y se enmarcan en una estructura para ser utilizados en las instalaciones [8]. En estas células o módulos es donde se genera el efecto fotovoltaico.

Figura 4. Paneles fotovoltaicos de tipo monocristalino [9]

El efecto fotovoltaico se produce cuando los fotones de la radiación solar transfieren su energía a los electrones de dos materiales semiconductores entre los que existe una diferencia de potencial. Se genera de esta forma un flujo de electrones que originan la diferencia de potencial en la célula [10].

Actualmente hay tres tipos de paneles fotovoltaicos que juegan un papel importante en el mercado. Se clasifican en función del tipo de células que los componen: monocristalinos, policristalinos y amorfos, también conocidos como de capa fina.

RENDIMIENTO DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

El rendimiento del panel es un factor a tener en cuenta a la hora de la elección del mismo. Se define como la cantidad de energía que es capaz de generar la placa en función de la radiación solar que recibe [11].

$$\mu = \frac{\text{Energía generada}}{\text{Irradiancia}} \quad \text{Ec. 10}$$

Habitualmente el rendimiento se expresa en tanto por ciento.

A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los tipos de paneles fotovoltaicos indicando sus características principales.

2.2.1.1 Paneles fotovoltaicos monocristalinos

Este tipo de paneles se componen de células de tipo monocristalinas, las cuales están compuestas por un solo cristal de silicio. Los cristales que forman las celdas tienen una pureza elevada y debido a esto son el tipo de placas con mayor rendimiento en el mercado [12].

Se caracterizan por tener un color azul oscuro o negro homogéneo y se pueden distinguir a simple vista porque las celdas tienen sus esquinas achaflanadas.

El rendimiento de estas placas suele estar en torno al 20% [13]. Debido a que son las que mayor rendimiento proporcionan, su precio en el mercado es más alto que en el caso de paneles policristalinos.



Figura 5. Celda monocristalina [14]

2.2.1.2. Paneles fotovoltaicos policristalinos

Este tipo de paneles se componen de células de tipo policristalinas, las cuales están compuestas por varios cristales de silicio. Al estar formadas por varios cristales la pureza es menor que en el caso de celdas monocristalinas y debido a esto el rendimiento es menor [12].

2. BASES TEÓRICAS

Se caracterizan por tener un color azulado irregular y se pueden distinguir a simple vista debido a esto.

El rendimiento de estas placas suele estar en torno al 17% [13]. Debido a que tienen menor rendimiento que los monocristalinos, su precio en el mercado es más bajo.

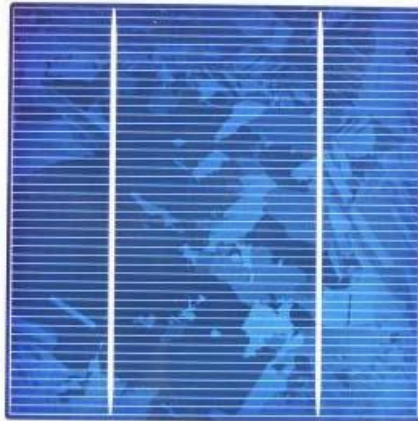


Figura 6. Celda policristalina [15]

2.2.1.3. Paneles fotovoltaicos amorfos

Los paneles fotovoltaicos de tipo amorfo también se conocen como de capa fina, ya que su espesor es muy pequeño (del orden de micrómetros). Se fabrican generalmente con silicio amorfo (a-Si), pero también existen de cobre, indio, galio y selenio (CIS o CIGS) y de telururo de cadmio (CdTe) [16]. En este tipo de placas no se aprecia a simple vista una división por celdas conectadas entre sí formando el panel. Esto facilita la elección de tamaños por parte del comprador.

Si se adhiere a una superficie flexible se obtienen placas flexibles. Esto es sencillo debido al pequeño espesor, lo que hace que se amolde bien al material de la estructura [17].

Una característica importante de estas placas frente a los otros tipos es que es capaz de captar mayor cantidad de radiación difusa. Pueden estar fabricadas para su utilización en interiores o condiciones de poca luz sin reducir o apenas reduciendo su rendimiento. También pueden funcionar bajo luz artificial. Estas placas son capaces de generar energía en momentos del día en los que la radiación es baja e incluso estando a la sombra o sin que el sol incida en ellas directamente [18].

Su color característico es un negro/azul oscuro homogéneo.

El rendimiento se ve reducido con respecto a las placas monocristalinas y policristalinas, estando en torno al 10% [19]. Esta reducción se puede ver compensada con la captación de radiación difusa.

2. BASES TEÓRICAS

El coste de los paneles de este tipo es mayor que en de los monocristalinos o policristalinos, mientras que el coste de instalación es mucho menor por ser más sencillo.

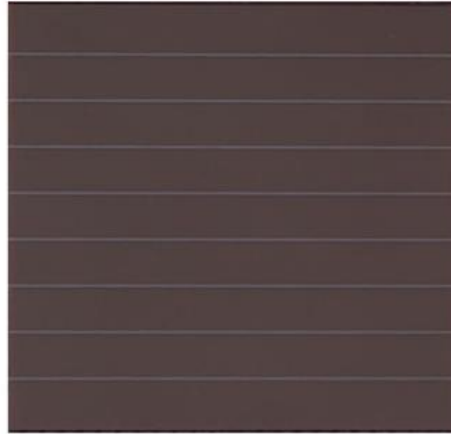


Figura 7. Celda de silicio amorfo [20]

2.2.2. COLECTORES SOLARES

El otro tipo de dispositivo mediante el que se genera energía a partir de la radiación solar es el colector solar, también conocidos como captadores solares. Estos paneles solares consisten en placas que transforman la energía solar en energía térmica.

A diferencia de los paneles fotovoltaicos, estas placas no realizan un proceso eléctrico, si no que utilizan la termodinámica. Se utilizan principalmente para generar agua caliente sanitaria (ACS) o electricidad [21]. En el primer caso la radiación calienta directamente el fluido (agua) dentro del panel para ser usado como agua caliente, mientras que en el segundo caso la función de la radiación solar es generar vapor de agua para mover una turbina.

2.3. CERTIFICADO LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es el tipo de clasificación de edificios ecológicos más utilizado a nivel mundial, desarrollada por la asociación U.S. Green Building Council proveniente de Estados Unidos [22]. Se busca que los edificios con este tipo de calificación sean saludables, eficientes y que ahorren costes. Existen distintos niveles de certificación LEED en función de los puntos obtenidos tras su evaluación. La evaluación de los edificios para obtener este certificado se hace en base a 6 categorías: Localización y transporte (LT), parcelas sostenibles (PS), eficiencia en agua (EA), energía y atmósfera (EA), materiales y recursos (MR), y calidad ambiental interior (CAI). También se contempla adicionalmente el aspecto de la innovación (IN) incluyendo la valoración del diseño y cualquier otro tipo de innovación eficiente no contemplada en ninguno de los puntos anteriores. Cada una de estas categorías está dividida en un número de prerrequisitos, que son

2. BASES TEÓRICAS

de obligado cumplimiento, y créditos, que cada uno tiene una puntuación adicional. Algunos ejemplos de prerrequisitos y créditos son [23]:

→ Localización y transporte.

- Créditos: Protección de suelos sensibles, acceso a transporte público de calidad, instalaciones para bicicletas, vehículos sostenibles.

→ Parcelas sostenibles.

- Prerrequisitos: Prevención de contaminación en actividades de construcción, evaluación ambiental de la parcela.

- Créditos: Espacio abierto, gestión del agua de lluvia, reducción de la contaminación lumínica.

→ Eficiencia en agua.

- Prerrequisitos: Reducción de consumo de agua en el interior, medición del agua a nivel de todo el edificio.

- Créditos: Consumo de agua de las torres de refrigeración.

→ Energía y atmósfera.

- Prerrequisitos: Mínima eficiencia energética, medición de energía a nivel de todo el edificio.

- Créditos: Optimización de la eficiencia energética, producción de energía renovable, energía verde y compensaciones de carbono.

→ Materiales y recursos.

- Prerrequisitos: Almacenamiento y recogida de reciclables, planificación de la gestión de residuos de construcción y demolición.

- Créditos: Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio, revelación y optimización de los productos del edificio.

→ Calidad ambiental interior.

- Prerrequisitos: Mínima eficiencia de la calidad del aire interior, control del humo del tabaco en el interior.

- Créditos: Materiales de baja emisión, evaluación de la calidad del aire interior, confort térmico, iluminación interior, luz natural, vistas de calidad.

2.4. CERTIFICADO WELL

El WELL Building Standard (Estándar de Construcción WELL) es un tipo de certificación que busca unir las prácticas de diseño y construcción para que sean llevadas a cabo en base a la salud y bienestar del usuario. Mientras que los otros tipos de certificaciones energéticas se basan principalmente en el

2. BASES TEÓRICAS

propio edificio, esta se centra en la persona que se encuentra dentro de él. El WELL B.S. se organiza en 7 categorías en vista al bienestar a las que se denomina conceptos: Aire, agua, nutrición, luz, ejercicio, confort y mente. Dentro de cada uno de estos conceptos se definen muchas características distintas en función del uso del edificio y se indica cuáles se deben cumplir dependiendo del tipo de proyecto que se esté tratando (núcleo y envolvente, interiores nuevos y existentes o edificios nuevos y existentes) [23]. Algunos ejemplos de estas características son los siguientes [23]:

- Aire: Estándares de calidad de aire, prohibición de fumar, eficiencia de ventilación, filtración de aire, control de microbios y moho, control de humedad.
- Agua: Calidad básica del agua, aditivos de agua pública, tratamiento del agua.
- Alimentación: Alimentos procesados, lavado de manos, información nutricional, ingredientes artificiales.
- Luz: Control del resplandor por luz eléctrica, control del resplandor por luz solar, calidad del color, controles automáticos de sombra y atenuación, derecho a luz, abertura para iluminación natural.
- Ejercicio: Circulación interna para el ejercicio, diseño exterior activo, espacios para la actividad física, fomento del transporte activo, mobiliario activo.
- Confort: Ergonomía visual y física, confort térmico, control térmico individual, control térmico radiante.
- Mente: Conciencia sobre salud y bienestar, belleza y diseño, espacios adaptables, apoyo familiar en el trabajo, transparencia de los materiales, características de innovación.

2.5. CERTIFICADO VERDE

VERDE es un tipo de certificación desarrollada por la asociación GBC España. Tiene como objetivo la evaluación de edificios teniendo en cuenta todo su ciclo de vida [23]. Puede verse como la certificación española homóloga a LEED. Está basada en el CTE y las Directrices Europeas. La evaluación de los edificios para obtener este certificado se hace en base a 6 categorías: parcela y emplazamiento (PyE), energía y atmósfera (EyA), recursos naturales (RN), calidad del ambiente interior (CAI), aspectos sociales y económicos (ASE) y concepto de calidad (CC). También se contempla adicionalmente el aspecto de la innovación (IN). Cada una de estas categorías está dividida en un número de créditos, y en función de su cumplimiento el edificio obtiene una puntuación de certificación. Algunos ejemplos de créditos son [23]:

2. BASES TEÓRICAS

- Parcela y emplazamiento: proximidad al transporte público, facilidades para la bicicleta, capacidad de carga de vehículos eléctricos, uso de plantas para crear sombras.
- Energía y atmósfera: Demanda en calefacción y refrigeración, consumo de energía primaria no renovable, demanda de energía eléctrica para otros usos.
- Recursos naturales: Necesidades de agua en jardines, consumo de agua en zonas comunes, uso de aguas no potables, uso de materiales reciclados impacto de los materiales de construcción, ecoetiquetado del producto.
- Calidad de ambiente interior: Eficacia de la ventilación natural, iluminación natural, protección frente al ruido.
- Aspectos sociales y económicos: Acceso universal, derecho a sol, acceso a espacios abiertos privados, coste de construcción.
- Concepto de calidad: Eficiencia de los espacios, custodia de la documentación del proyecto, el edificio como una herramienta para la educación.

Una vez expuestas las bases teóricas sobre las que se apoya este trabajo, en el capítulo siguiente se presentará el proceso de diseño completo que se ha llevado a cabo para obtener una solución de sistema de oscurecimiento que cumpla con los objetivos iniciales.

CAPÍTULO 3

Desarrollo de la propuesta

3.1. Datos de partida.....	35
3.1.1. Descripción del edificio	35
3.1.2. Estudio solar.....	38
3.1.2.1. Estudio solar en el primer cuatrimestre	39
3.1.2.2. Estudio solar en el segundo cuatrimestre	48
3.1.2.3. Conclusiones del estudio solar	59
3.2. Patentes.....	60
3.3. Aproximación al estudio de mercado	61
3.4. Pliego de condiciones	64
3.5. Proceso de diseño	66
3.5.1. Componentes del sistema.....	66
3.5.2. Mecanismo de orientación	72
3.5.3. Análisis mecánico	75
3.5.3.1. Valores obtenidos	77
3.5.3.1. Conclusiones del análisis mecánico	80
3.5.4. Conexión de placas	80
3.6. Propuesta final.....	83

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. DATOS DE PARTIDA

Para comenzar con el desarrollo de la propuesta del sistema de control del oscurecimiento de las aulas, en primer lugar es necesario conocer bien las características del edificio con el que se va a trabajar. Una vez conocidas estas se ha llevado a cabo su modelización mediante el programa de modelado BIM Autoesk Revit. Posteriormente se realizará un estudio solar con el mismo programa que será útil para determinar en qué momentos del día el sol incide en cada una de las aulas.

3.1.1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio del que se parte para la realización de este trabajo está situado en la ciudad de Valladolid, concretamente en el Campus Universitario Esgueva. Consta de 5 plantas además de la planta baja y todas ellas tienen la misma distribución de espacios. Cada uno de los niveles tiene 4 aulas cuyos muros exteriores están acristalados. Además cuenta con aseos, escaleras interiores (principales), escaleras de emergencia y dos ascensores, tal y como se ha mostrado en la figura 1 (capítulo 1) . Los diferentes espacios se han dejado simplemente como huecos y solo se ha colocado mobiliario en la última de las plantas. Esto es debido a que el objetivo del trabajo no es el diseño en sí del edificio, si no proponer un sistema de oscurecimiento para el mismo a partir de un análisis solar. Por ello es suficiente con el modelado que se ha realizado.

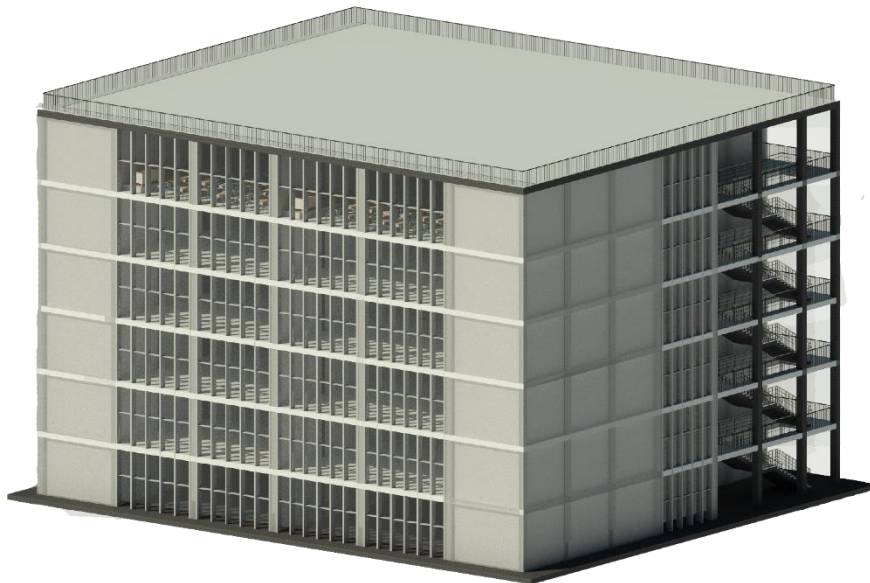


Figura 8. Fachada 1 de aulas del edificio. Aulas 1 y 2

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

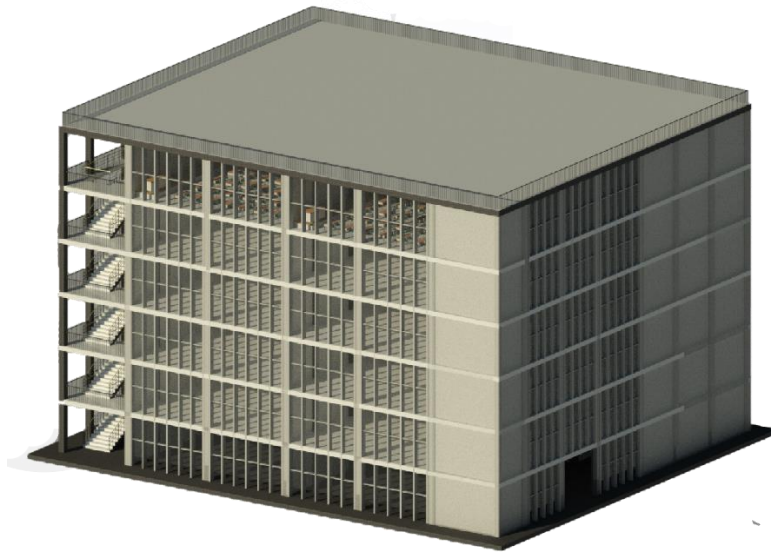


Figura 9. Fachada 2 de aulas del edificio. Aulas 3 y 4

Para establecer la orientación del edificio, se han tomado unas condiciones similares a las de un edificio docente real perteneciente a la Universidad de Valladolid. A partir de estos datos se ha determinado que la fachada norte del edificio está girada un ángulo de 29° en sentido antihorario respecto al norte real. Las fachadas de las aulas, objeto del estudio (fachadas 1 y 2), están orientadas hacia el noreste y hacia el suroeste (figura 10).

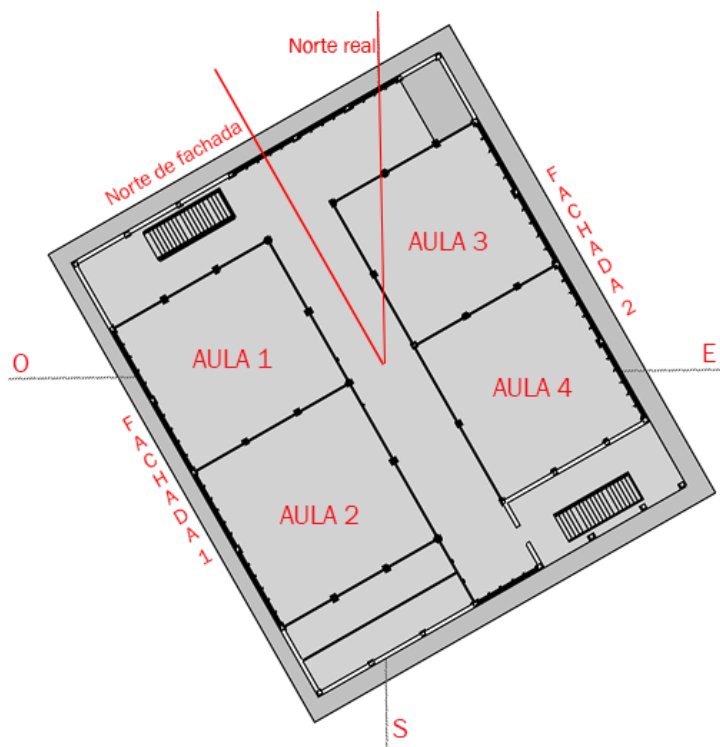


Figura 10. Orientación del edificio respecto al norte real

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Las dimensiones y ocupación de alumnos de cada una de las aulas son las siguientes:

- Aula 1: 12 x 11 m. Ocupación: 72 alumnos.
- Aula 2: 12 x 12 m. Ocupación: 84 alumnos.
- Aula 3: 11 x 11 m. Ocupación: 60 alumnos.
- Aula 4: 11 x 12 m. Ocupación: 70 alumnos.

La distribución del mobiliario es la que se muestra en la siguiente imagen. La colocación de sillas y mesas en las 4 aulas es tal que el sol entrará por la izquierda de los alumnos. Esto es debido a que estadísticamente la mayoría de la población es diestra, por lo tanto la mayoría de alumnos lo serán. De esta forma la entrada de luz y la proyección de sombras en el aula tendrá menos probabilidades de causar molestias a la mayoría de los alumnos, sobre todo a la hora de escribir [24].

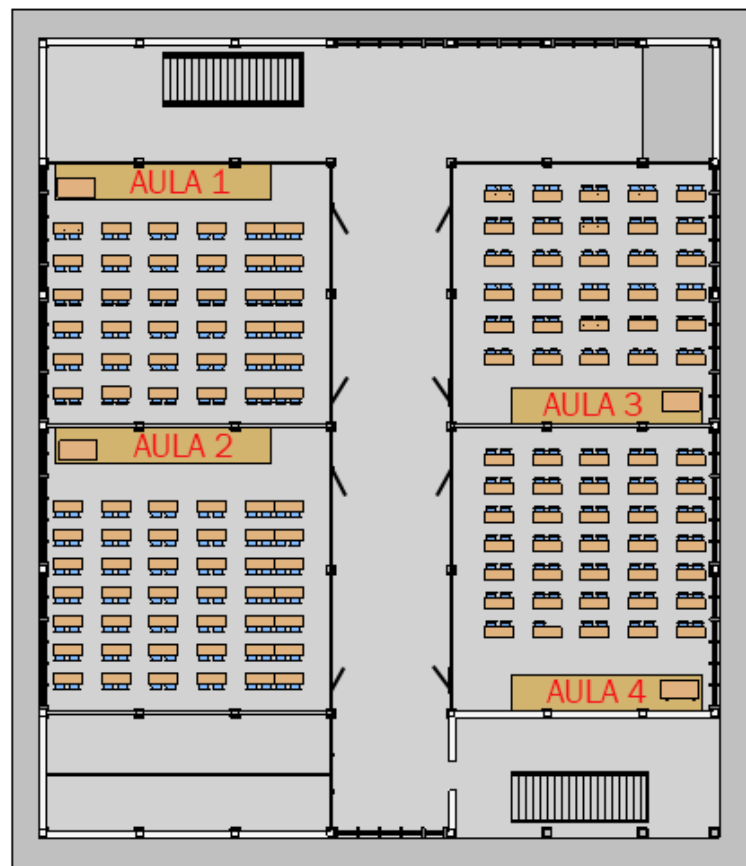


Figura 11. Distribución de mobiliario en las aulas

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1.2. ESTUDIO SOLAR

Para llevar a cabo el estudio solar con el programa Autodesk Revit, en primer lugar es necesario definir la ubicación del proyecto, el tipo de estudio que se va a realizar, número de días, rango de tiempo en cada día, así como cada cuánto tiempo se va a obtener una imagen de la posición del sol.

La ubicación se ha establecido en Valladolid, como ya se ha comentado anteriormente. El tipo de estudio que se realizará será de un día, seleccionando la opción de un solo día y determinando el día concreto del que se quieren obtener datos. Se seleccionará la opción del rango de tiempo desde el amanecer hasta el anochecer, ya que cuando no hay sol el sistema de oscurecimiento no será útil, con un intervalo de tiempo en la posición del sol de una hora.

Para determinar los días que se van a analizar se ha mirado el calendario académico del curso 2018 - 2019. El primer cuatrimestre tiene en total 19 semanas, 14 semanas lectivas y 5 de período de exámenes (color verde). El segundo cuatrimestre tiene un total de 20 semanas, 15 lectivas y 5 de exámenes (color azul). Los días que se han seleccionado para hacer los análisis son los miércoles de una semana cada dos, para así tener una muestra de la evolución de la posición del sol en un número significativo de días del calendario.

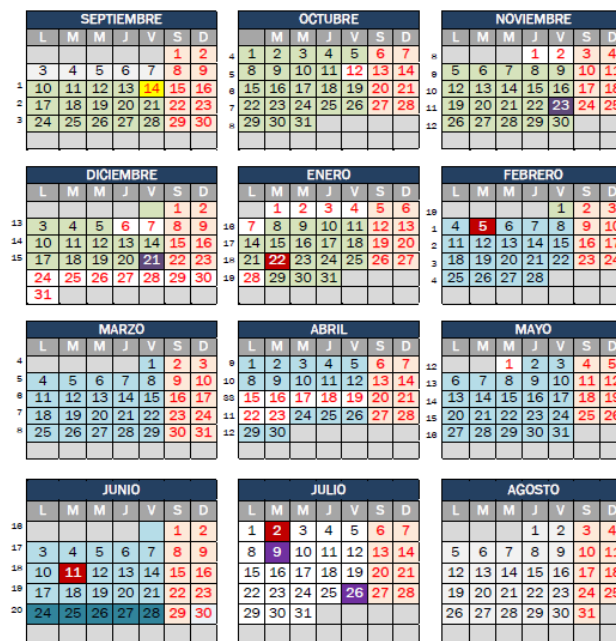


Figura 12. Calendario académico 2018 - 2019 [25]

Las horas de sol en cada día seleccionado serán mostradas mediante fotogramas que muestran la posición del sol con un margen de tiempo de una hora desde la hora del amanecer.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1.2.1. Estudio solar en el primer cuatrimestre

Como ya se ha expuesto anteriormente, el primer cuatrimestre del curso 2018 – 2019 tiene 14 semanas lectivas más 5 de exámenes. Las fechas entre las que se desarrolla son del 10 de septiembre de 2018 hasta el 31 de enero de 2019, con las vacaciones de Navidad del 22 de diciembre al 7 de enero. Estos días no se tendrán en cuenta en el estudio ya que en ese periodo de tiempo el centro permanece cerrado.

SEMANA 1 → 10 – 14 septiembre de 2018.

Miércoles 12/09/2018

Amanecer: 7:56 h.

Anochecer: 20:33 h.

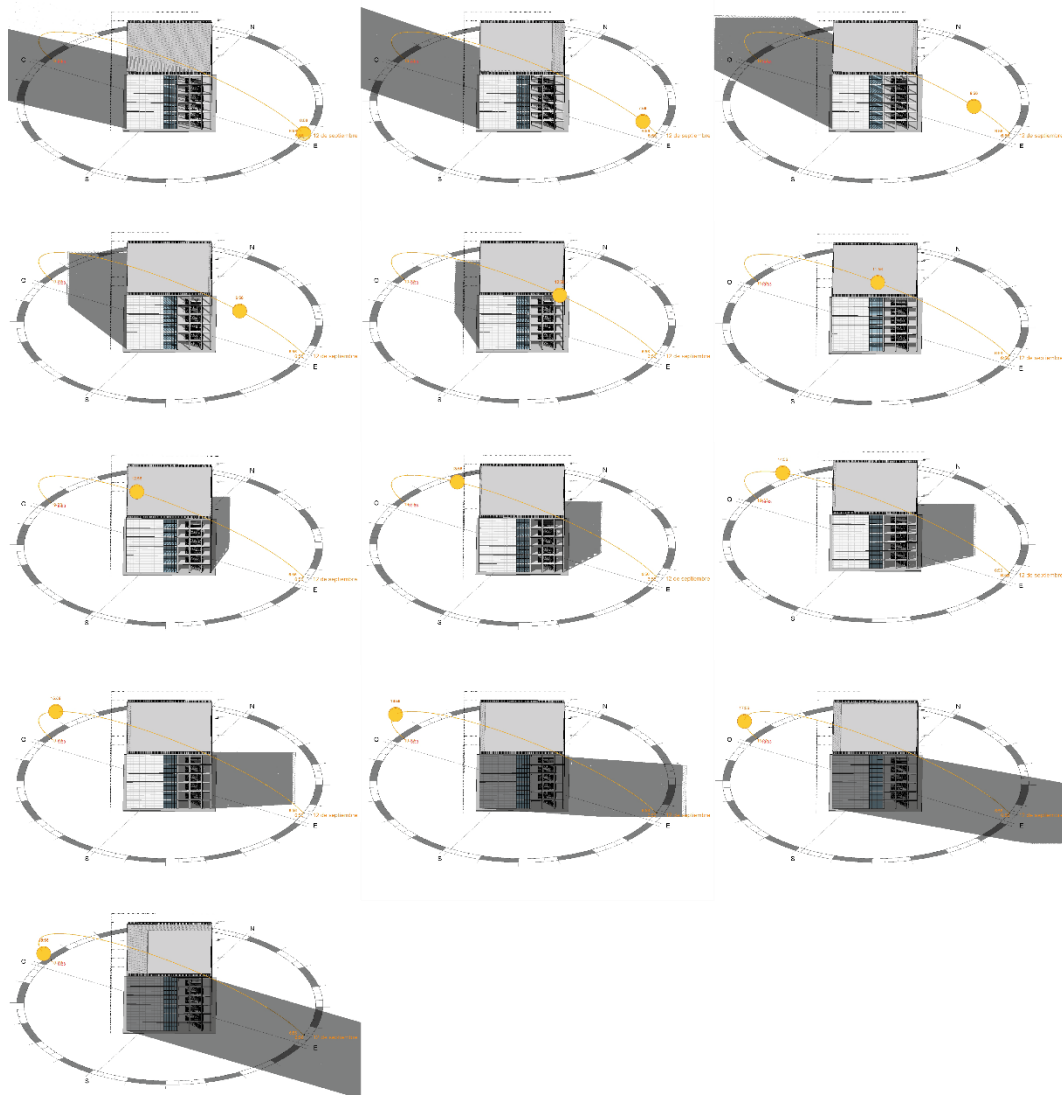


Figura 13. Recorrido del sol 12/09/2018

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 3 → 24 - 28 septiembre de 2018.

Miércoles 26/09/2018

Amanecer: 8:11 h.

Anochecer: 20:09 h.

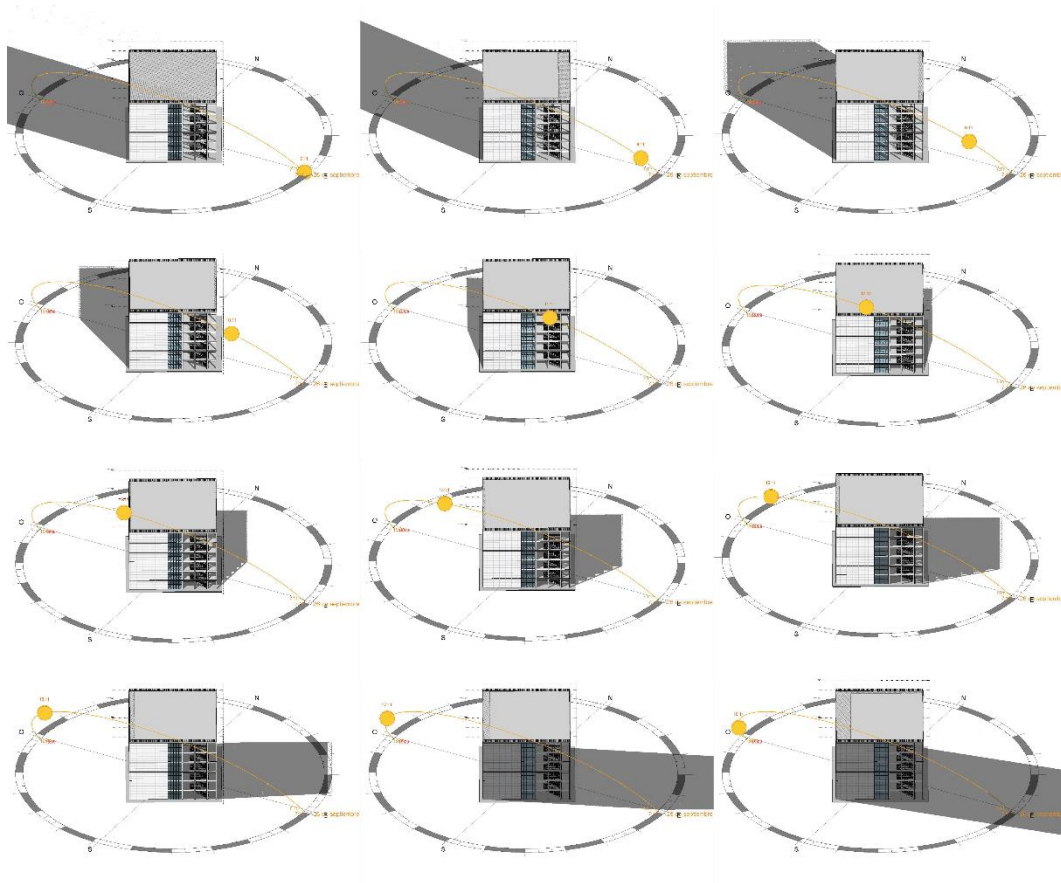


Figura 14. Recorrido del sol 26/09/2018

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 5 → 8 – 12 octubre de 2018.

Miércoles 10/10/2018

Amanecer: 8:26 h.

Anochecer: 19:45 h.

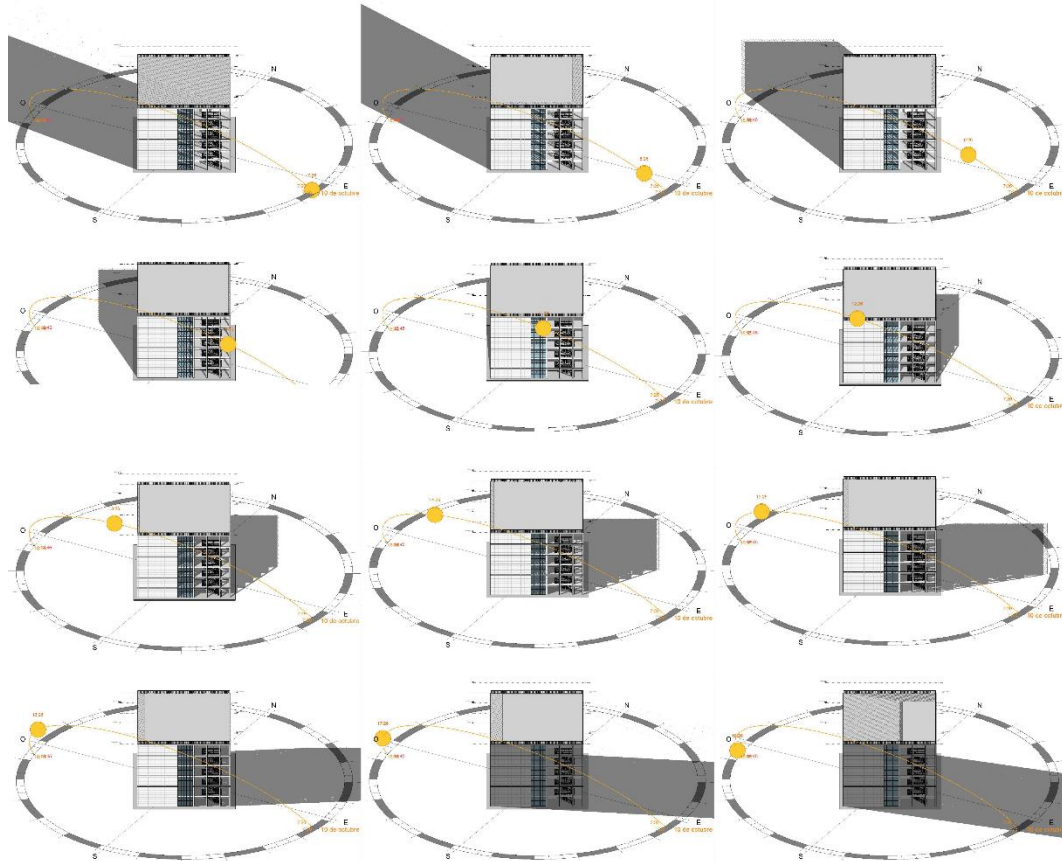


Figura 15. Recorrido del sol 10/10/2018

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 7 → 22 – 26 octubre de 2018.

Miércoles 24/10/2018

Amanecer: 8:42 h.

Anochecer: 19:23 h.

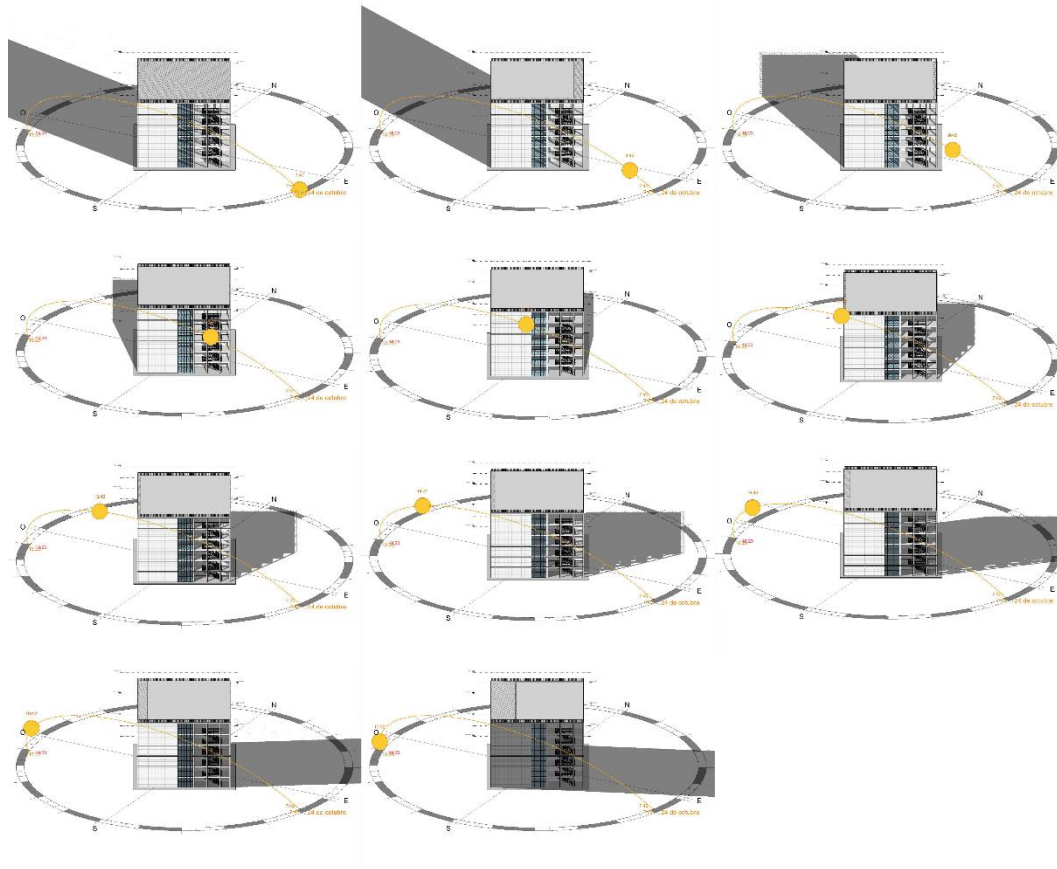


Figura 16. Recorrido del sol 24/10/2018

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 9 → 5 – 9 noviembre de 2018.

Miércoles 7/11/2018

Amanecer: 7:59 h.

Anochecer: 18:05 h.

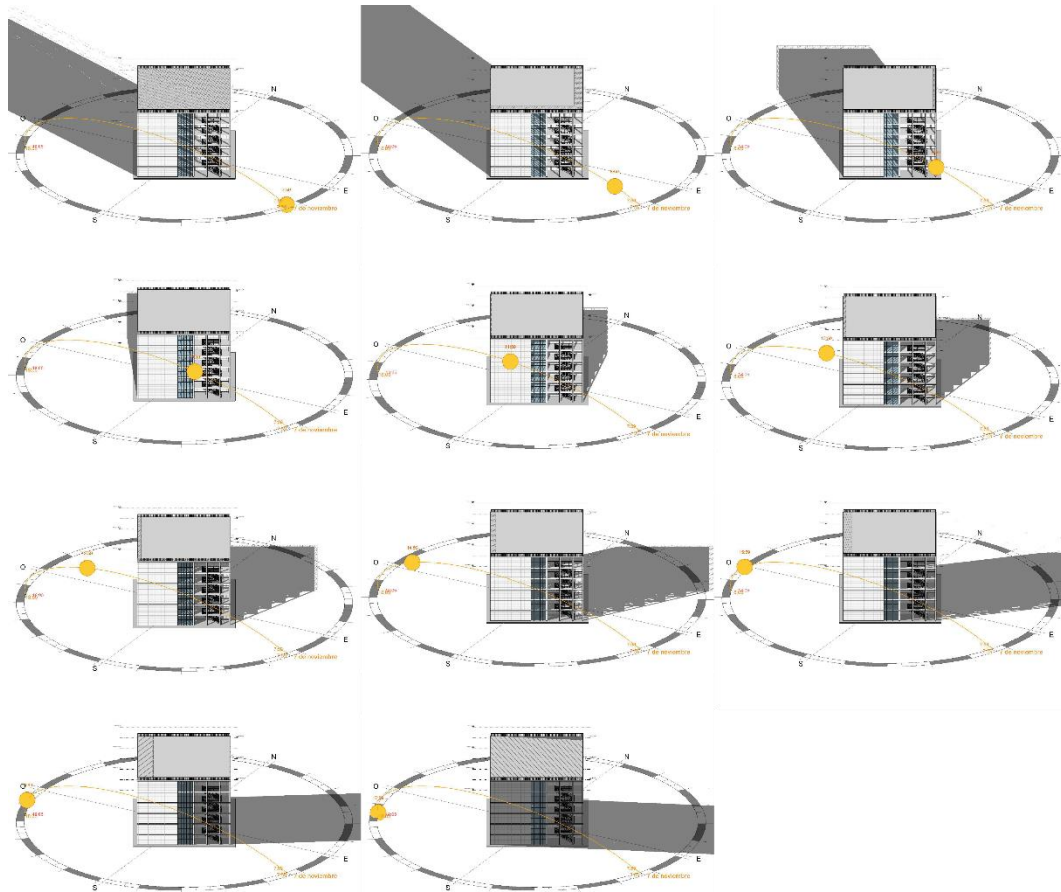


Figura 17. Recorrido del sol 7/11/2018

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 11 → 19 - 23 noviembre de 2018.

Miércoles 21/11/2018

Amanecer: 8:16 h.

Anochecer: 17:52 h.

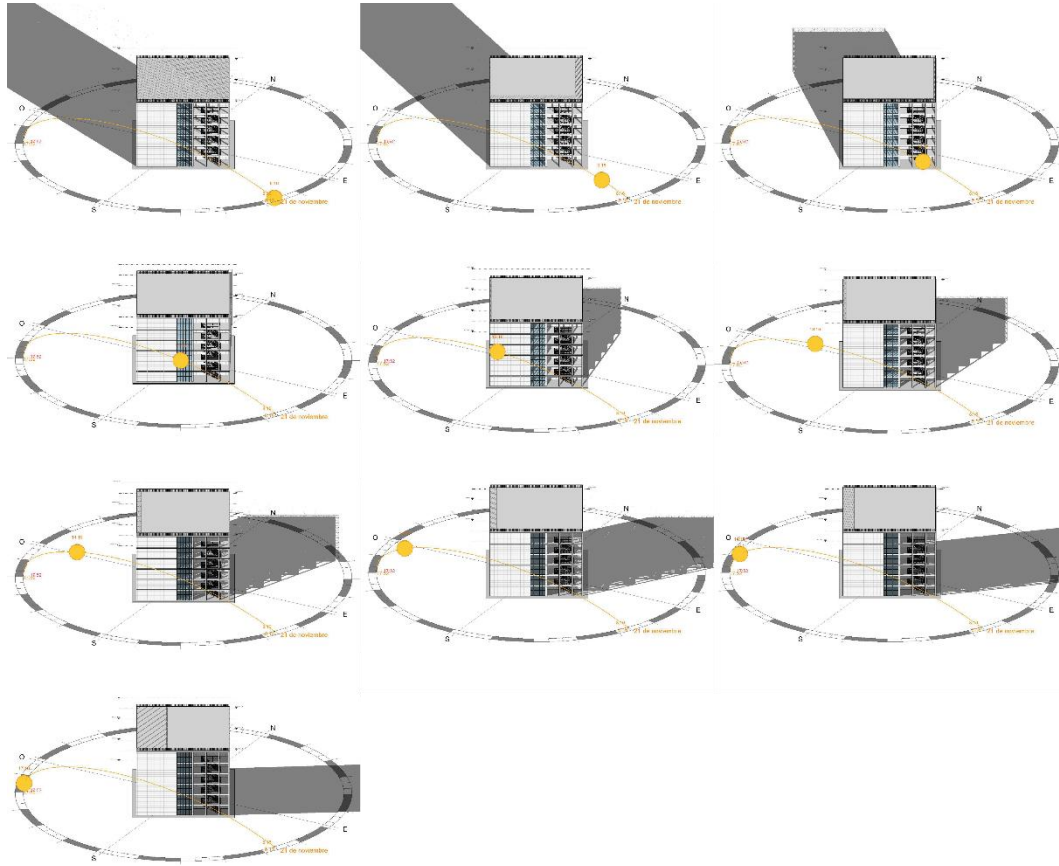


Figura 18. Recorrido del sol 21/11/2018

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 13 → 3 - 7 diciembre de 2018.

Miércoles 5/12/2018

Amanecer: 8:23 h.

Anochecer: 17:46 h.

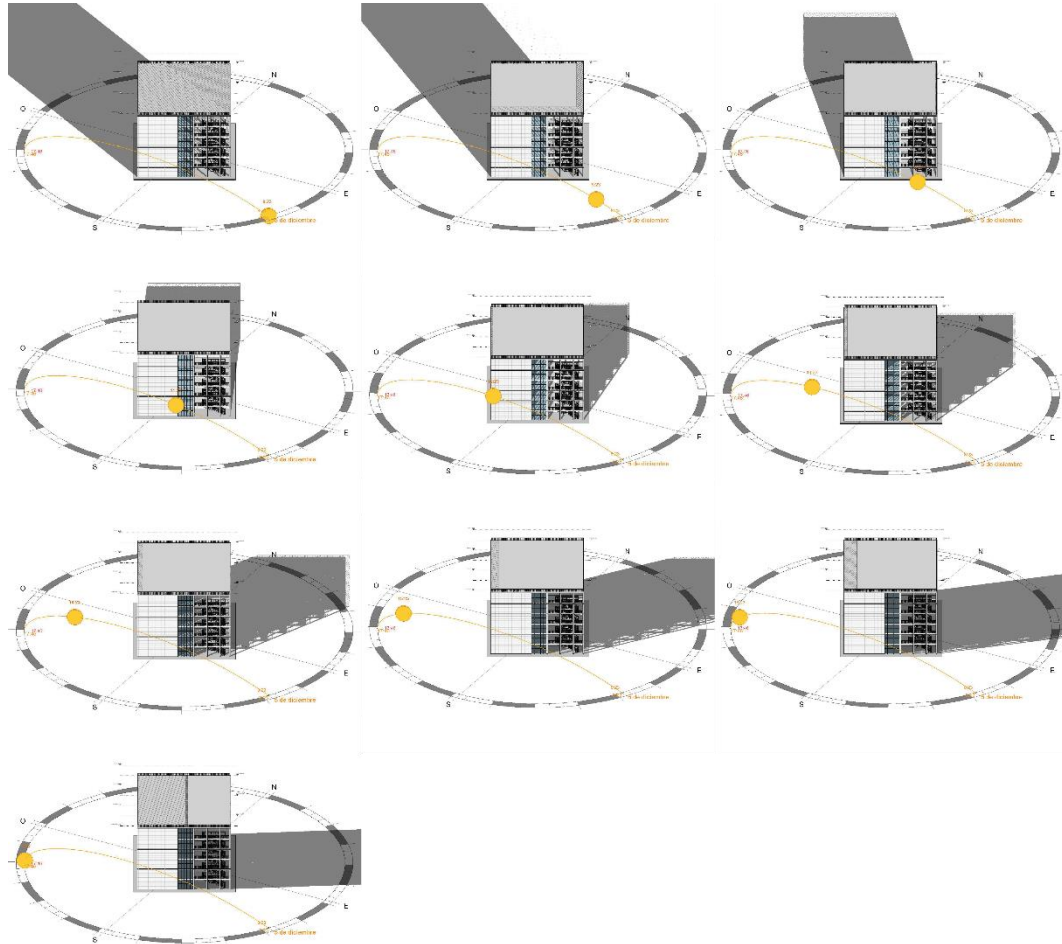


Figura 19. Recorrido del sol 5/12/2018

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 15 → 17 - 21 diciembre de 2018.

Miércoles 19/12/2018

Amanecer: 8:34 h.

Anochecer: 17:48 h.

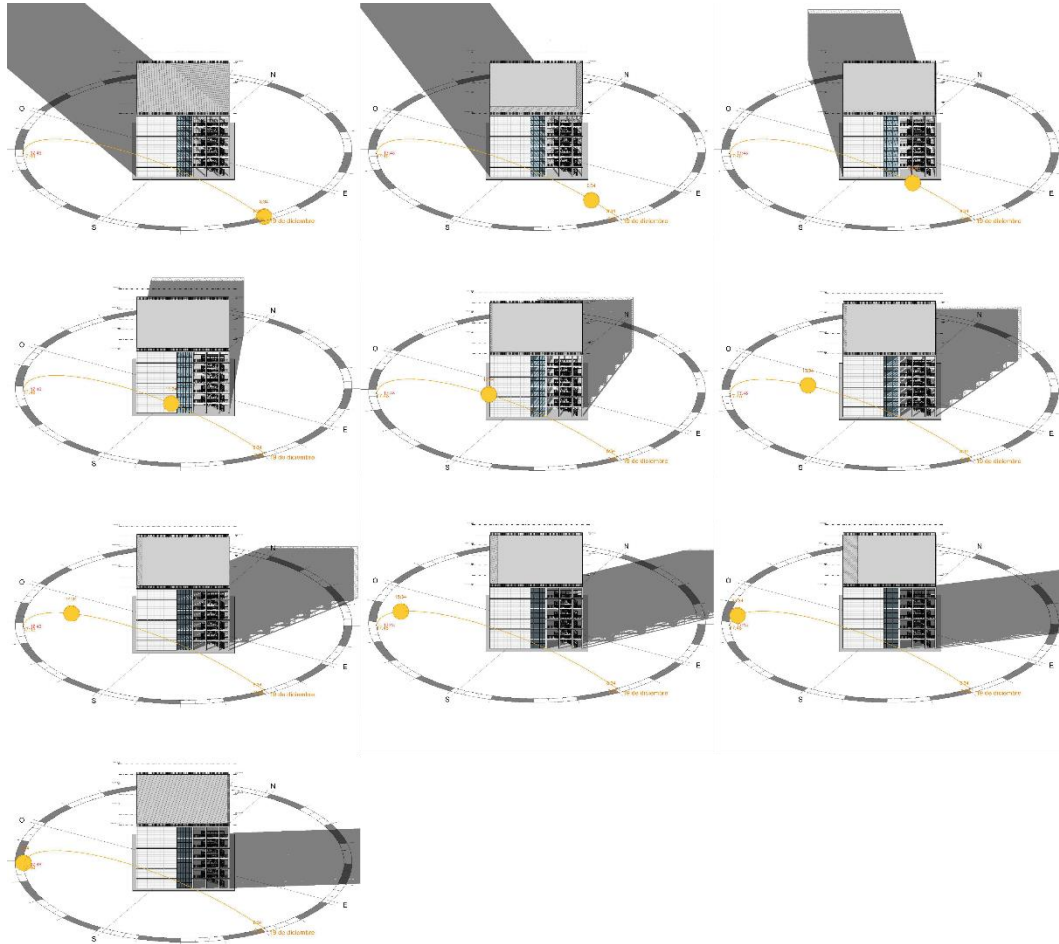


Figura 20. Recorrido del sol 19/12/2018

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 17 → 14 - 18 enero de 2019.

Miércoles 16/01/2019

Amanecer: 8:37 h.

Anochecer: 18:11 h.

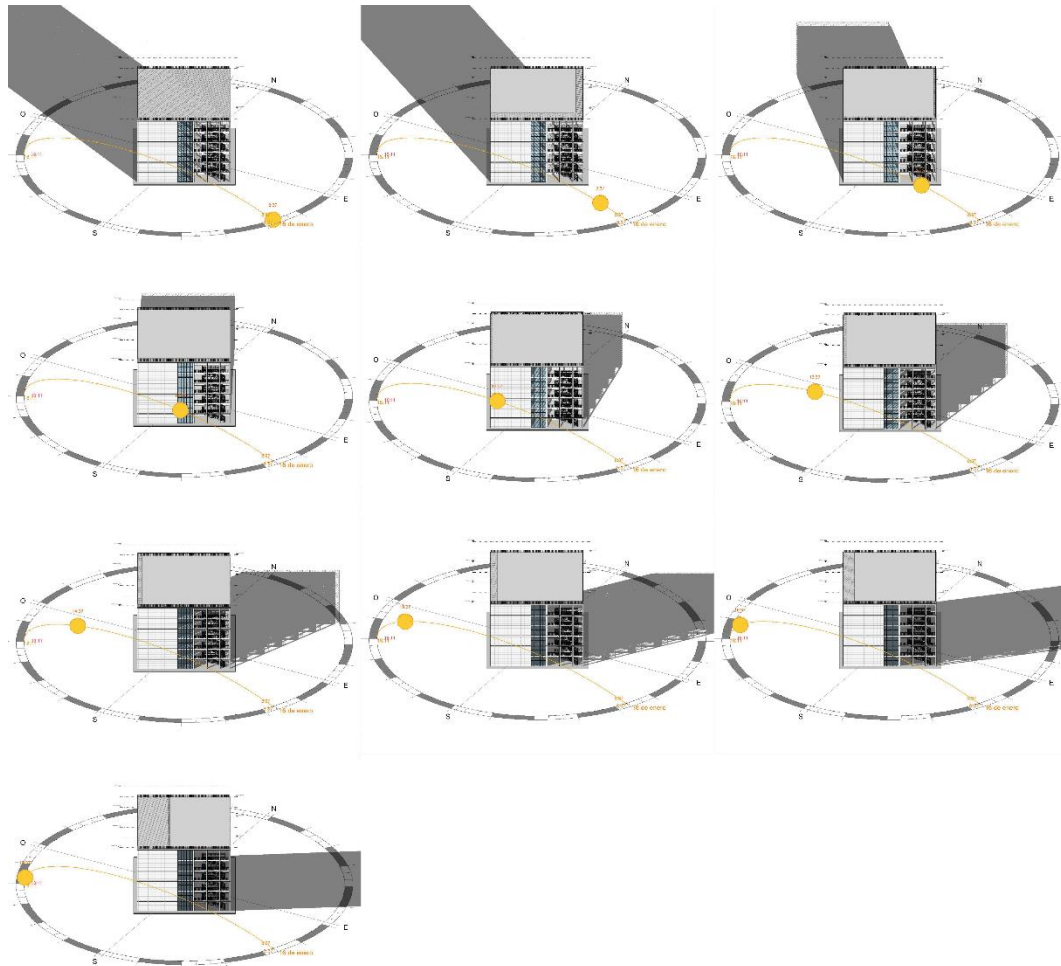


Figura 21. Recorrido del sol 16/01/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 19 → 28 enero – 1 febrero de 2019.

Miércoles 30/01/2019

Amanecer: 8:27 h.

Anochecer: 18:28 h.

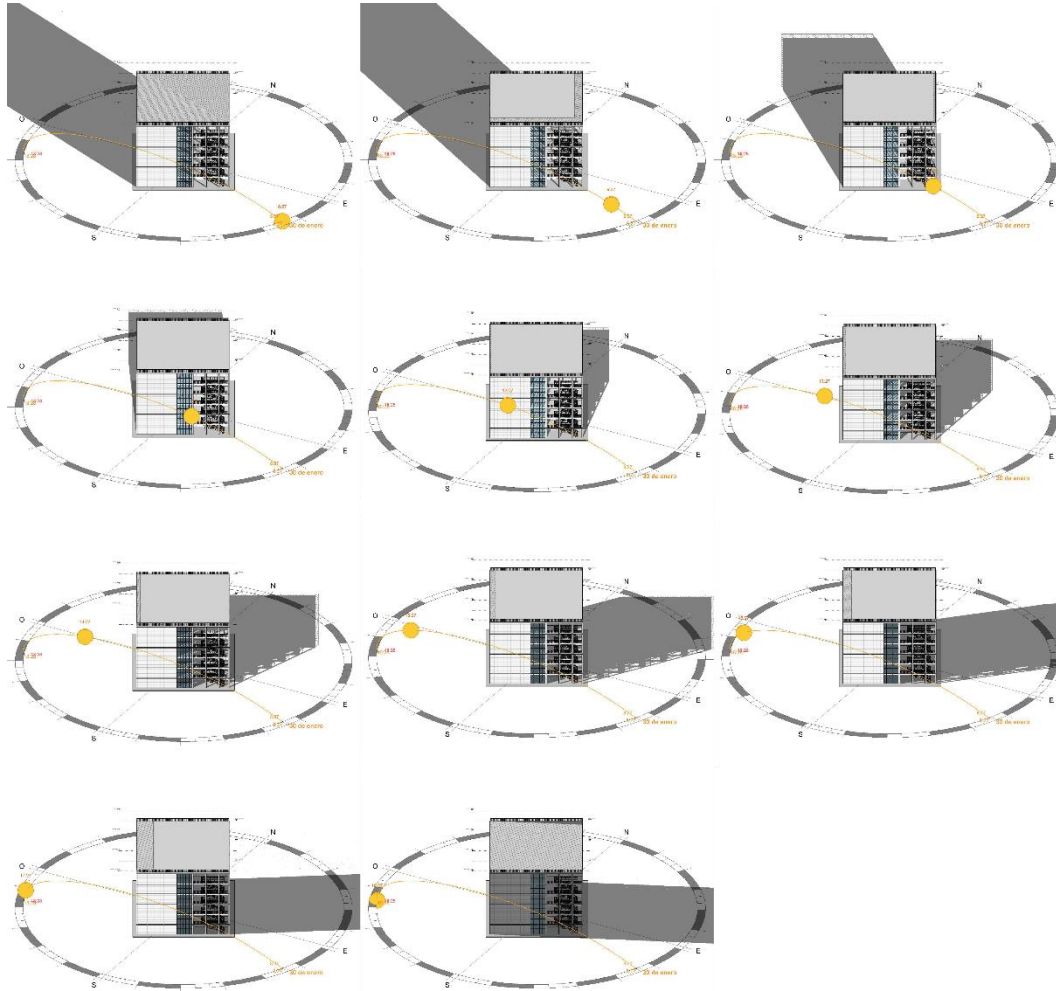


Figura 22. Recorrido del sol 30/01/2019

3.1.2.2. Estudio solar en el segundo cuatrimestre

El segundo cuatrimestre del curso 2018 – 2019 tiene 15 semanas lectivas más 5 de exámenes. Las fechas entre las que se desarrolla son del 4 de febrero de 2019 hasta el 28 de junio de 2019, con las vacaciones de Semana Santa del 15 al 23 de abril. Estos días no se tendrán en cuenta en el estudio ya que en ese periodo de tiempo el centro permanece cerrado.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 1 → 4 - 8 febrero de 2019.

Miércoles 6/02/2019

Amanecer: 8:21 h.

Anochecer: 18:35 h.

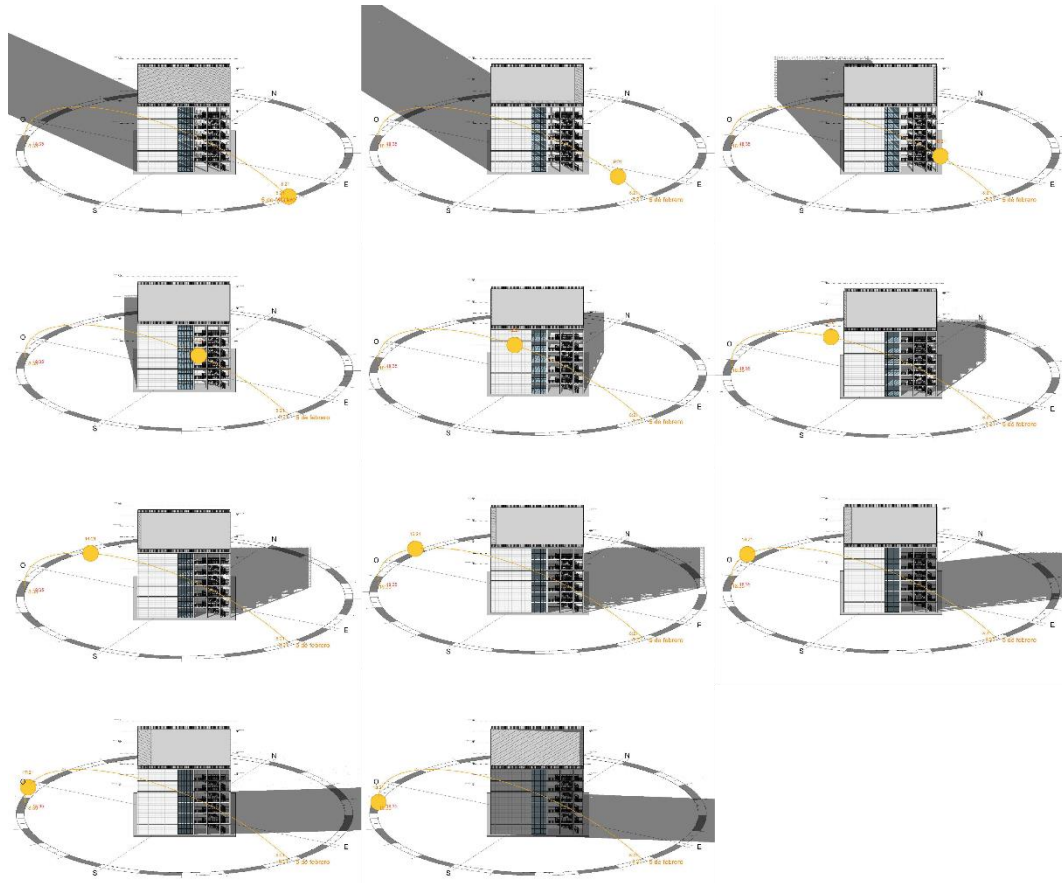


Figura 23. Recorrido del sol 6/02/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 3 → 18 – 22 febrero de 2019.

Miércoles 20/02/2019

Amanecer: 8:03 h.

Anochecer: 18:54 h.

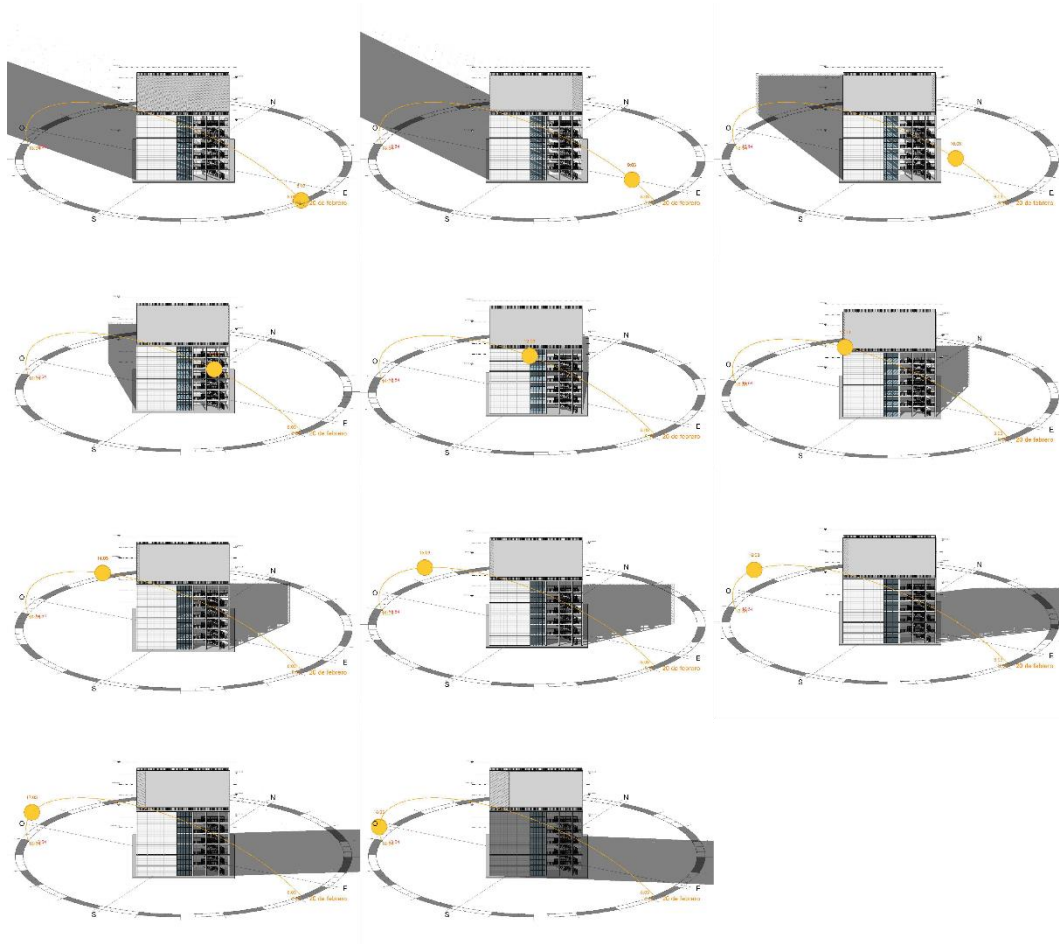


Figura 24. Recorrido del sol 20/02/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 5 → 4 - 8 marzo de 2019.

Miércoles 6/03/2019

Amanecer: 7:42 h.

Anochecer: 19:09 h.

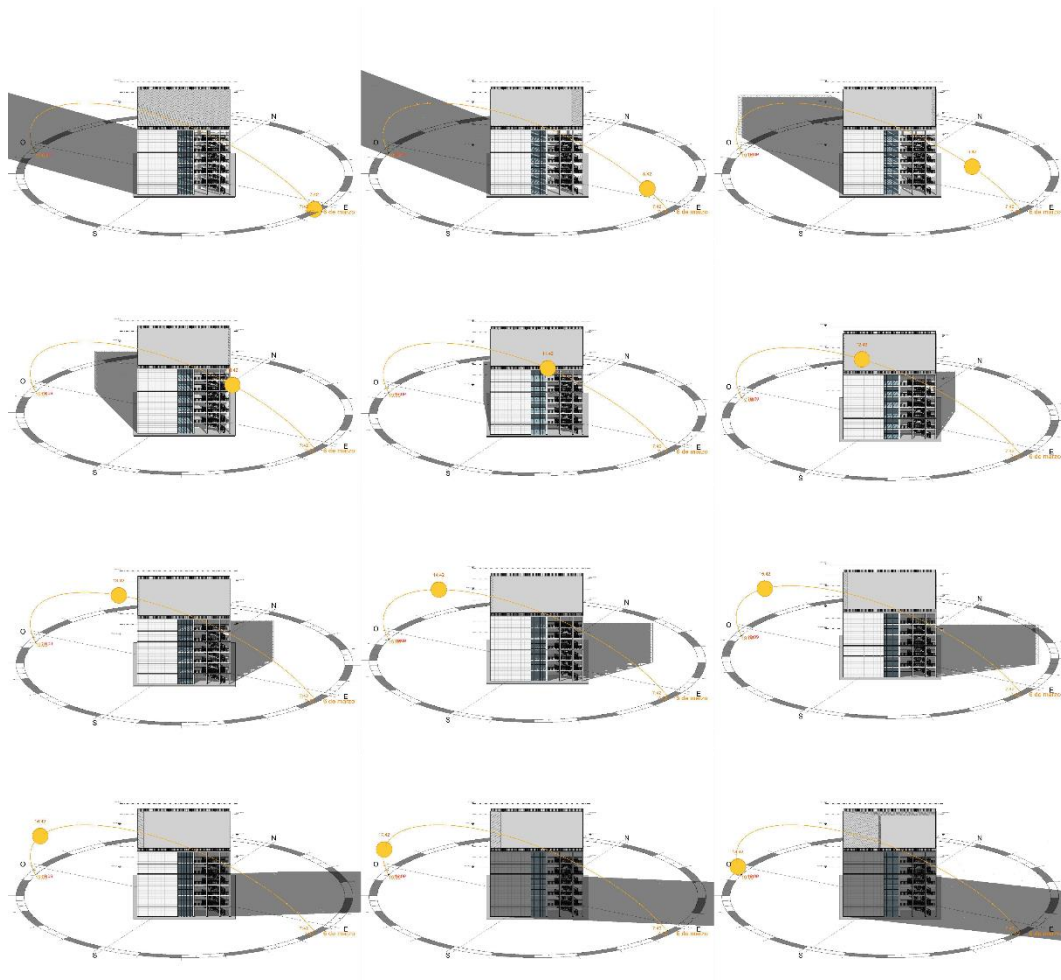


Figura 25. Recorrido del sol 6/03/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 7 → 18 – 22 marzo de 2019.

Miércoles 20/03/2019

Amanecer: 7:19 h.

Anochecer: 19:25 h.

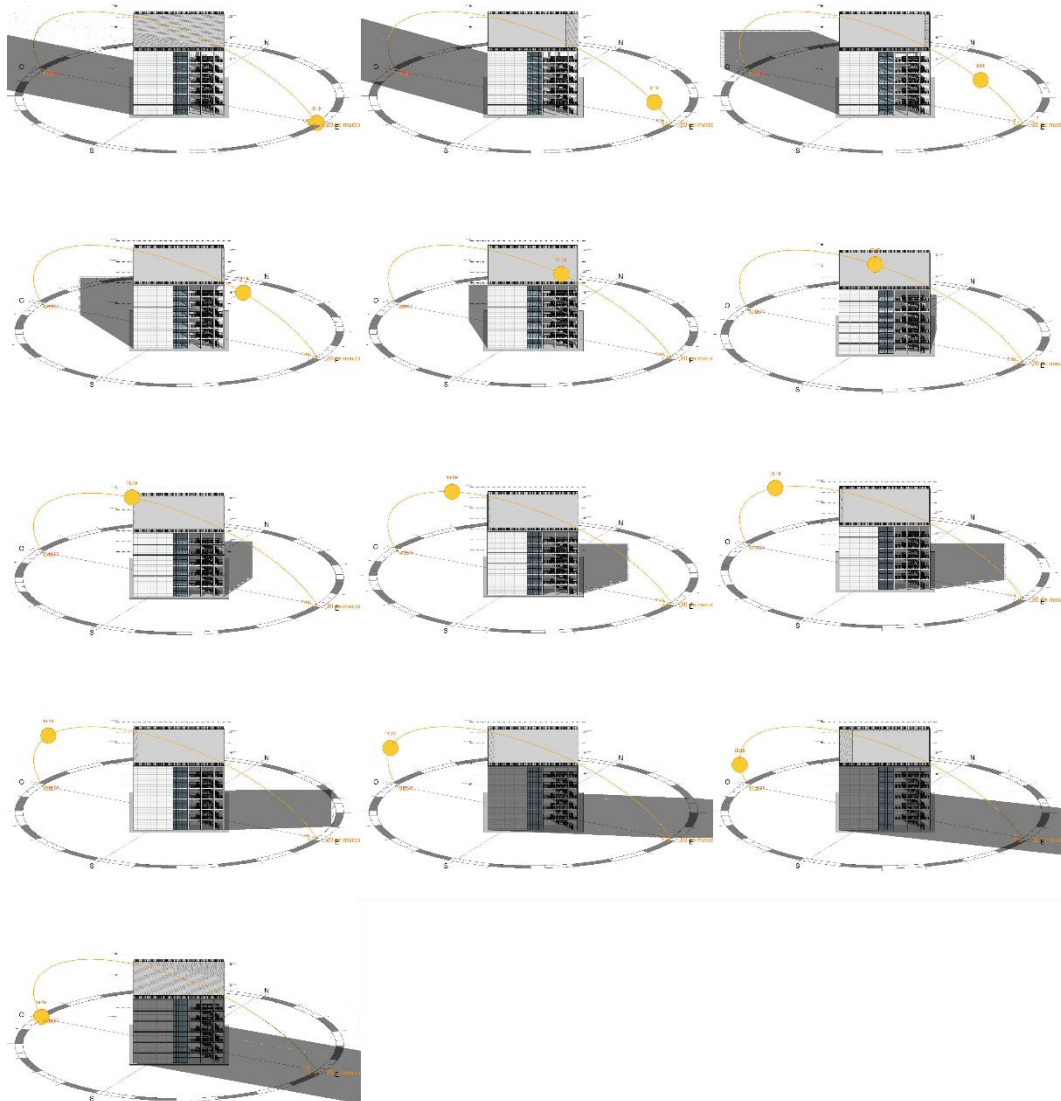


Figura 26. Recorrido del sol 20/03/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 9 → 1 - 5 abril de 2019.

Miércoles 3/04/2019

Amanecer: 7:56 h.

Anochecer: 20:39 h.

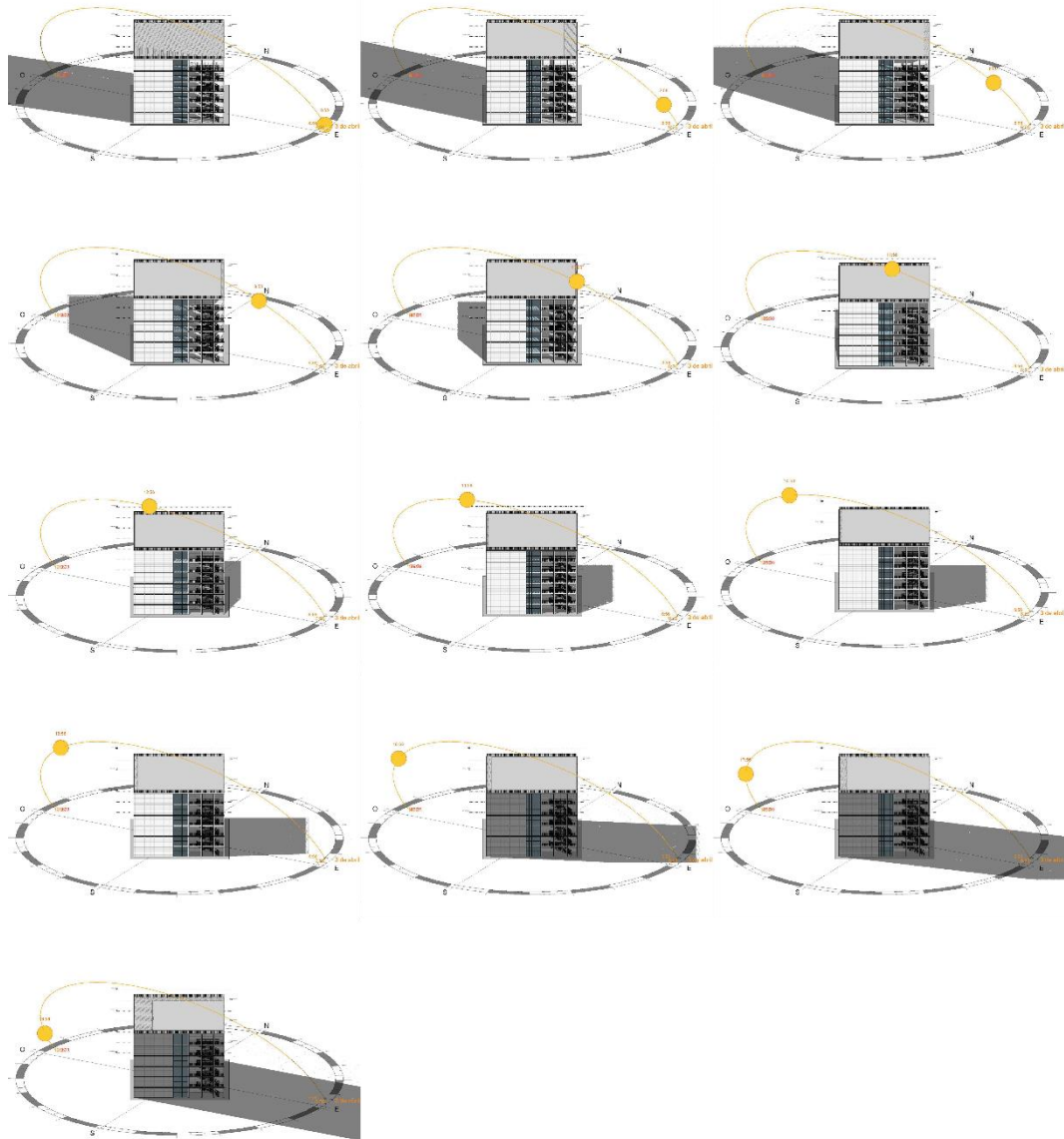


Figura 27. Recorrido del sol 3/04/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 11 → 24 - 28 abril de 2019.

Miércoles 26/04/2019

Amanecer: 7:22 h.

Anochecer: 21:03 h.

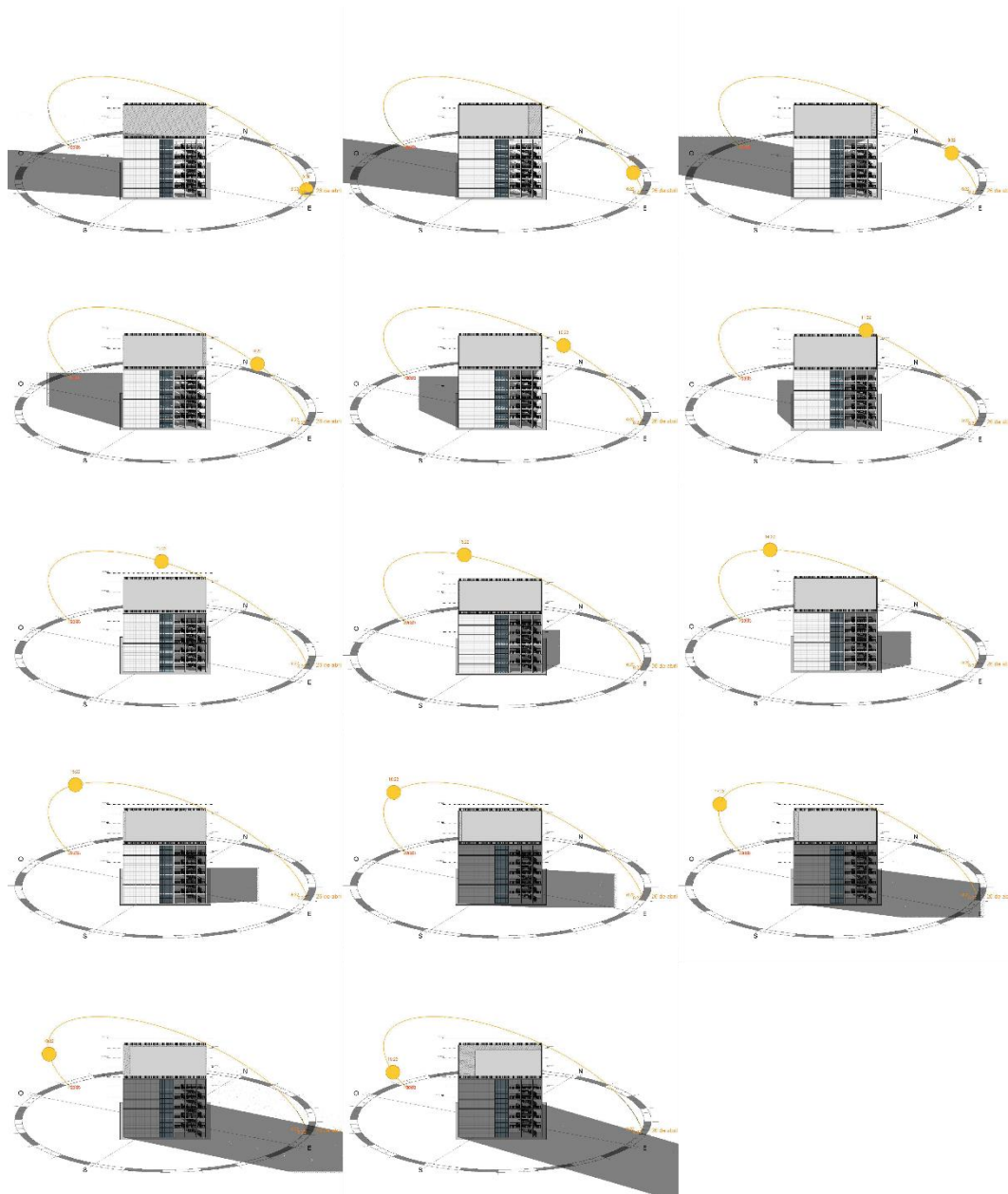


Figura 28. Recorrido del sol 26/04/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 13 → 6 - 10 mayo de 2019.

Miércoles 8/05/2019

Amanecer: 7:07 h.

Anochecer: 21:15 h.

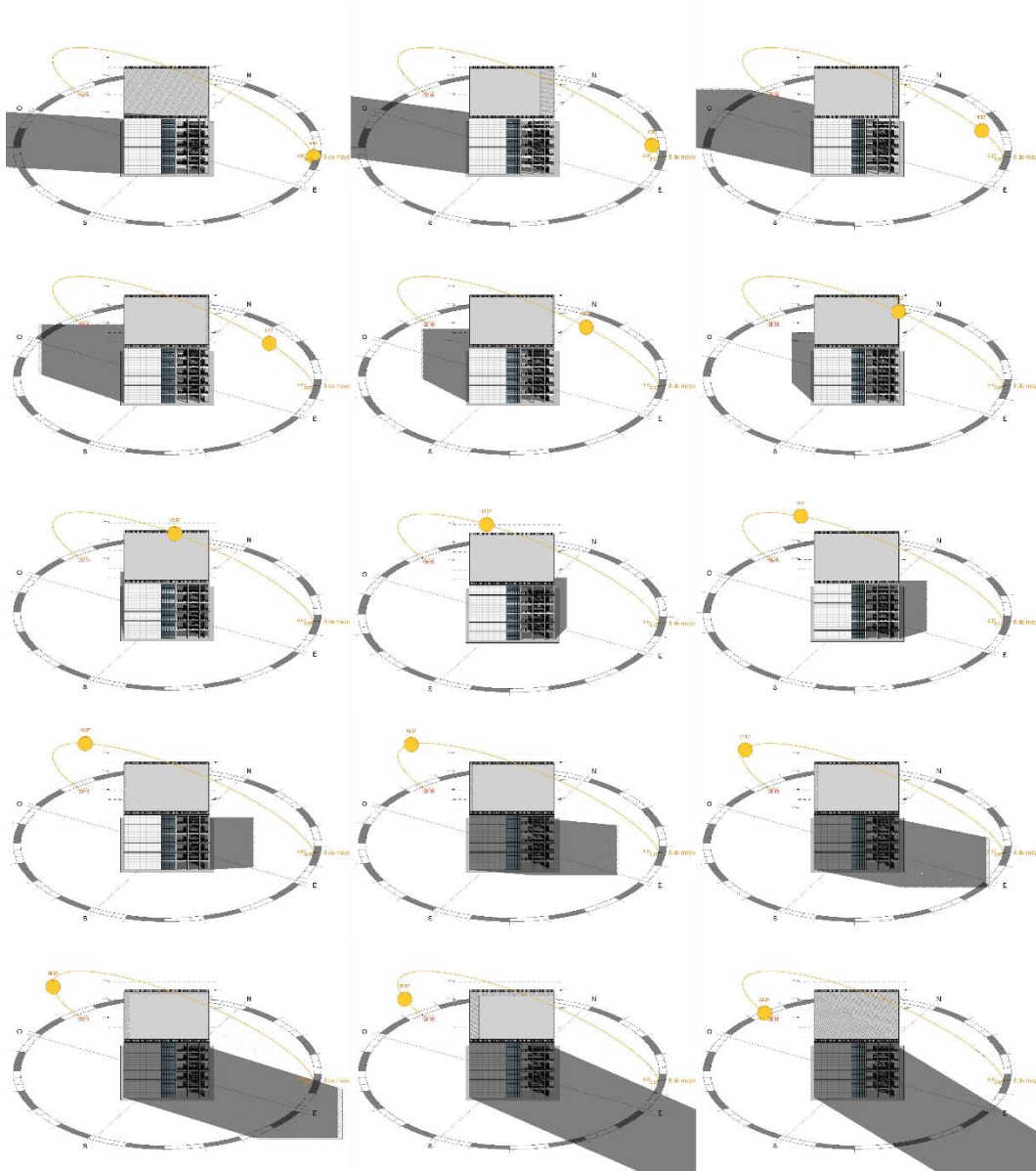


Figura 29. Recorrido del sol 8/05/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 15 → 20 - 24 mayo de 2019.

Miércoles 22/05/2019

Amanecer: 6:54 h.

Anochecer: 21:28 h.

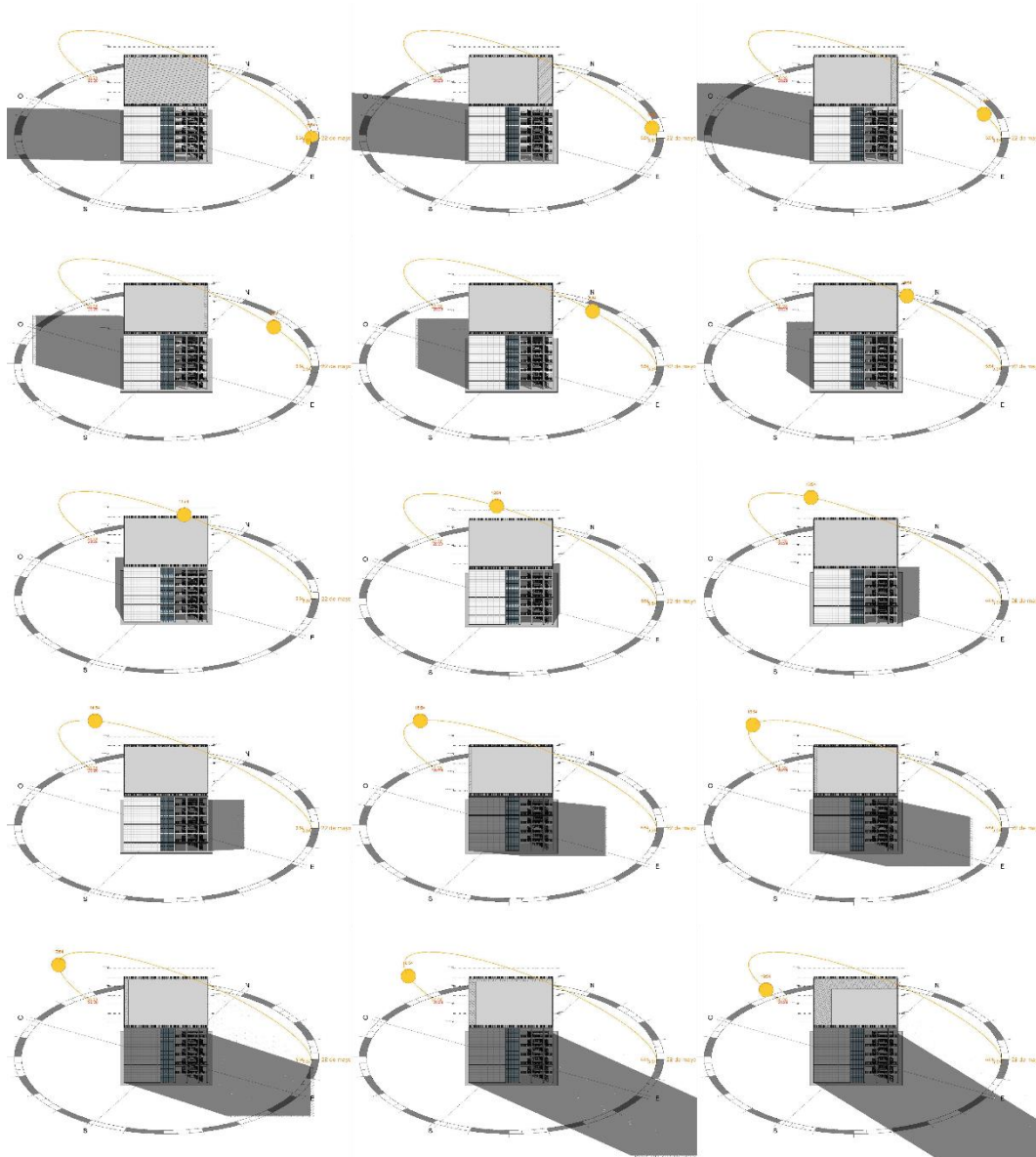


Figura 30. Recorrido del sol 22/05/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 17 → 3 - 7 junio de 2019.

Miércoles 5/06/2019

Amanecer: 6:47 h.

Anochecer: 21:39 h.

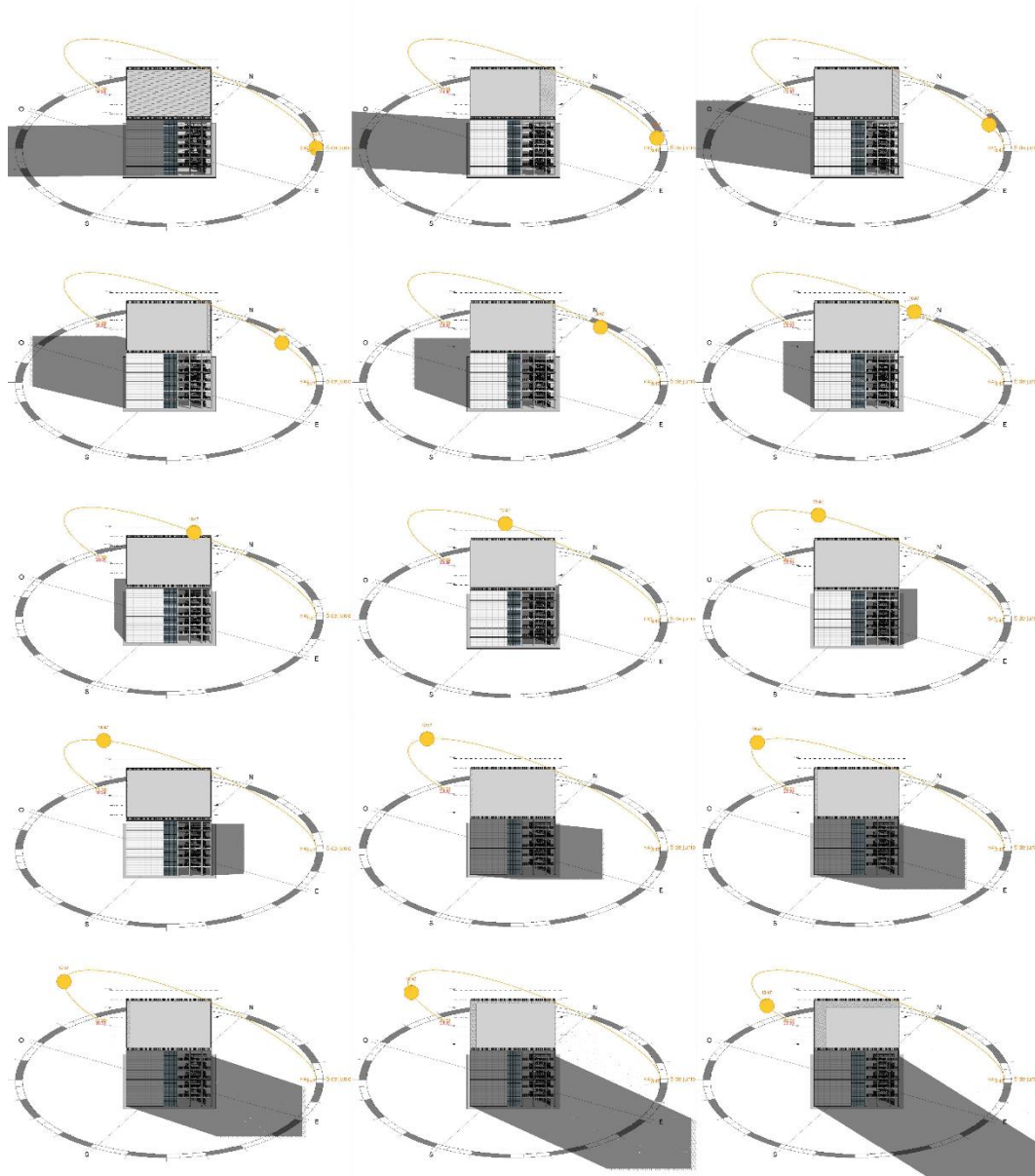


Figura 31. Recorrido del sol 5/06/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SEMANA 19 → 17 - 21 junio de 2019.

Miércoles 19/06/2019

Amanecer: 6:46 h.

Anochecer: 21:46 h.

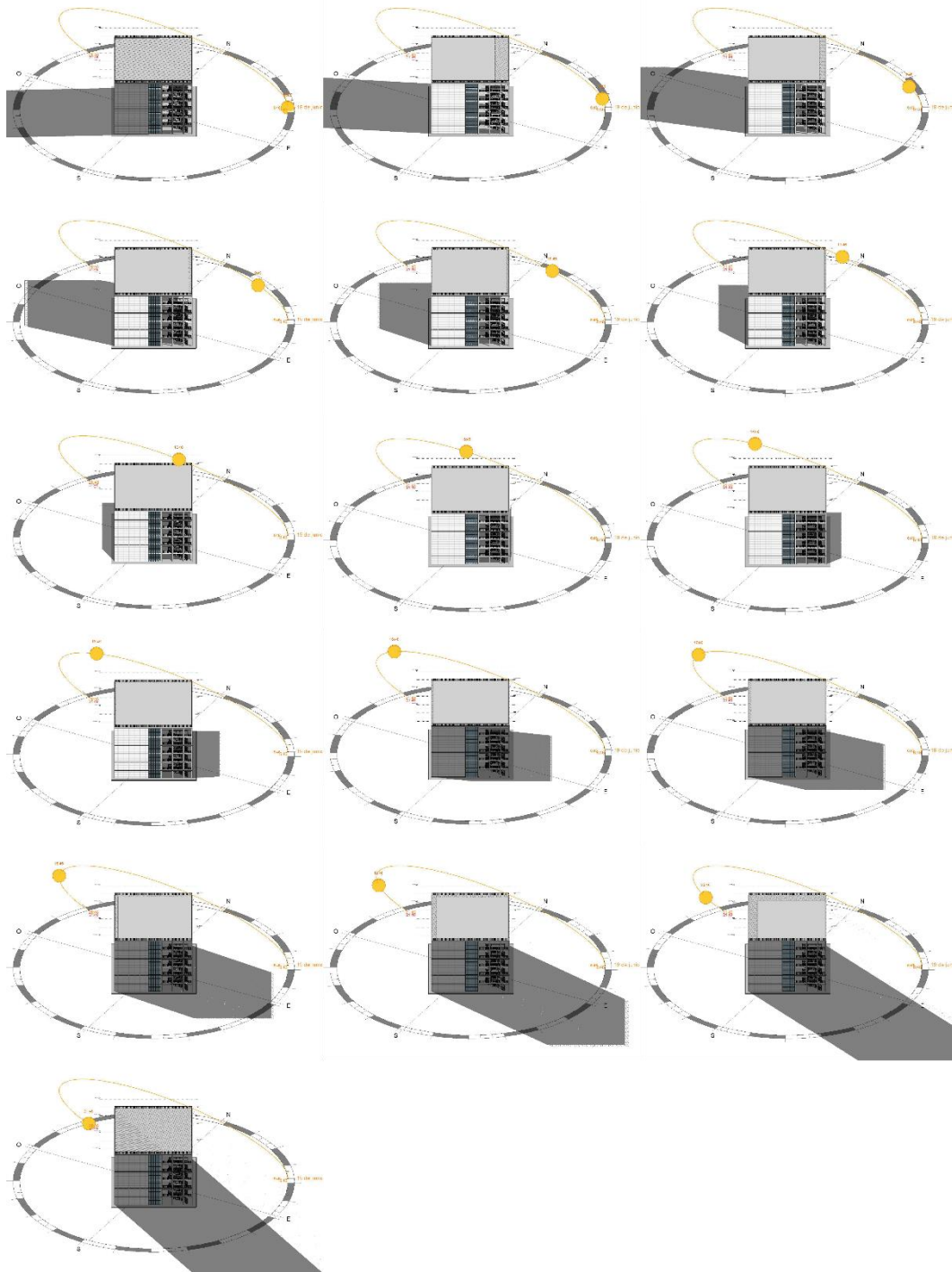


Figura 32. Recorrido del sol 19/06/2019

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1.2.3. Conclusiones del estudio solar

Una vez completado el estudio solar de un año académico 2018 – 2019, se ha llegado a las conclusiones que se exponen a continuación:

→ El número de horas de sol va variando según la estación del año, siendo menor en invierno y mayor en verano.

Viendo las imágenes mostradas anteriormente y la hora de amanecer y anochecer se observa que en el mes de diciembre se alcanza un mínimo en las horas de sol (10 fotogramas). De la misma forma el máximo de horas se alcanza en el mes de junio (16 fotogramas).

→ La posición del sol al comenzar su recorrido diario va cambiando a lo largo del año.

Se puede observar que está más alto en los meses más calurosos y más bajo en los meses más fríos reduciendo así su recorrido. Esto lleva a la conclusión de que el ángulo de incidencia va variando, de forma que es mayor en los meses de calor que en los meses de frío.

Estas dos primeras conclusiones pueden verse simplemente como observaciones del comportamiento del sol, ya que son hechos físicos objetivos que ocurren siempre independientemente de la orientación del edificio. Las siguientes conclusiones sí dependen de la orientación del edificio, por tanto son específicas para este trabajo.

→ En la fachada 1, situada hacia el suroeste, el sol incide durante las horas de la tarde.

De esta forma se puede establecer aproximadamente el rango de horas que en las que incide el sol sobre esta fachada para cada uno de los meses lectivos.

- Septiembre: 13:45h – 20:00h.
- Octubre: 13:00h – 19:00h.
- Noviembre: 11:45h – 17:45h.
- Diciembre: 11:45h – 17:45h.
- Enero: 12:10h – 18:10h.
- Febrero: 12:15h – 18:30h.
- Marzo: 12:30h – 19:10h.
- Abril: 13:45h – 20:40h.
- Mayo: 13:45h – 21:10h.
- Junio: 14:00h – 21:40h.

→ En la fachada 2, situada hacia el noreste, el sol incide durante las horas de la mañana.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

De esta forma se puede establecer aproximadamente el rango de horas que en las que incide el sol sobre esta fachada para cada uno de los meses lectivos.

- Septiembre: 8:15h – 12:15h.
- Octubre: 9:00h – 12:45h.
- Noviembre: 8:15h – 11:15h.
- Diciembre: 8:40h – 11:00h.
- Enero: 8:30h – 11:20h.
- Febrero: 8:20h – 11:30h.
- Marzo: 7:45h – 11:30h.
- Abril: 7:45h – 12:50h.
- Mayo: 7:10h – 12:50h.
- Junio: 6:45h – 13:10h.

Cuando más se puede aprovechar la energía es en los meses en los que hay mayor número de horas de sol, porque además es cuando el sol calienta con más fuerza, es decir, emite más radiación. Estos meses son septiembre, marzo, abril, mayo y junio.

En cuanto a la fachada en la que incide más el sol es la 1 (suroeste), ya que en vista a los rangos de horas indicados anteriormente recibe radiación durante más tiempo en todos los meses del calendario.

3.2. PATENTES

Una vez realizado el estudio solar completo y habiendo determinado el rango de horas de sol más significativo para cada una de las dos fachadas se ha continuado haciendo un estudio de patentes. Para ello se ha hecho una breve investigación de las patentes Europeas existentes que podrían aportar algo al proyecto. Aquellas por las que se ha mostrado interés están relacionadas con el tema del oscurecimiento y absorción de energía solar ya que, tal y como se ha expuesto en los objetivos iniciales, el almacenamiento y aprovechamiento de energía solar es uno de los requisitos a cumplir en este proyecto.

A continuación se resumirá brevemente en qué consisten las patentes encontradas.

→ Dispositivo inteligente para absorber energía solar y controlar admisión de luz solar [26].

Dispositivo que consiste en dos placas separadas por un líquido que hará la función del oscurecimiento. El líquido está en circulación de forma que absorbe el calor proporcionado por el sol y esta energía es aprovechada para otros usos mediante un intercambiador de calor.

→ Elemento óptico holográfico híbrido de control espectral de iluminación [27].

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Dispositivo formado por una serie de láminas en capas. Entre las dos capas exteriores se encuentra un holograma de fase por reflexión. Además lleva al menos una capa más con un material que permita disminuir o aumentar la entrada de luz. Este dispositivo también permite aprovechar la energía solar para otros usos.

→ Luna con recubrimiento reflectante de radiación térmica [28].

Este dispositivo en principio tiene como objetivo su aplicación en el campo de la automoción. Consiste en un panel formado por varias capas que refleja la radiación solar y favorece el oscurecimiento. Se presenta una propuesta amplia de materiales con los que se pueden formar las distintas capas del dispositivo.

→ Procedimiento y dispositivo de accionamiento de al menos un dispositivo de oscurecimiento de al menos una abertura de una habitación de un edificio [29].

Se describe el funcionamiento de un dispositivo que obtiene al menos un parámetro relacionado con el medio de calefacción de la habitación. A partir de él se acciona el medio de oscurecimiento de esa habitación. De esta forma se permite una mejor gestión de la energía disponible.

→ Combinación de líquidos utilizable en pantallas de oscurecimiento [30].

Dispositivo que consiste en una cámara de espesor pequeño en la que se introducen dos líquidos inmiscibles de distinta densidad, de forma que el más oscuro quede por encima del transparente. El dispositivo se acciona a modo de persiana moviendo hacia arriba o abajo el líquido oscuro, encargado del oscurecimiento de la habitación.

3.3. APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE MERCADO

Tras haber expuesto las patentes que existen relacionadas con este proyecto se ha hecho una breve investigación de los diferentes tipos de sistemas de oscurecimiento que existen actualmente en el mercado. Esto ayudará posteriormente a tomar una decisión definitiva de la geometría y el tipo de sistema que se va a desarrollar.

A continuación se explicará brevemente en qué consisten los sistemas existentes más significativos.

La forma más sencilla y habitual de oscurecer una habitación es con una o varias cortinas de tela. Estas permiten el paso de más o menos luz dependiendo de su tejido más o menos traslúcido.

Un sistema de oscurecimiento muy común en este país y que se instala aunque se disponga de otros sistemas es la persiana. Esta permite oscurecer una habitación de forma total o parcial mediante un mecanismo instalado en una

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

caja encima de la ventana en el que se enrollan o desenrollan una serie de lamas opacas unidas horizontalmente. Estas lamas suben y bajan accionadas o bien manualmente mediante una correa que se encuentra en un lateral o automáticamente, llegando a despejar o cubrir totalmente el hueco de la habitación. Como se ha indicado habitualmente las persianas van acompañadas de otro sistema tipo cortina.



Figura 33. Ventana con persiana enrollable [31]

Los estores generalmente son de tela. Tienen un mecanismo enrollable al igual que las persianas, pero a diferencia de estas ocupan menos espacio. La tela se va enrollando o desenrollando en una barra situada horizontalmente en la parte superior de la ventana. La forma de accionamiento típicamente es manual mediante un cable o correa situada en un lateral del hueco, pero actualmente es común que se accionen automáticamente mediante un mando.



Figura 34. Estor traslucido enrollable automático [32]

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Otra forma de oscurecimiento son los sistemas de lamas orientables. Las lamas pueden ser verticales u horizontales, y suelen estar hechas de materiales opacos o tejidos y son tanto flexibles como rígidas. Las láminas giran en torno a su eje para regular la entrada de luz en el establecimiento.



Figura 35. Cortina de lamas horizontales orientables [33]

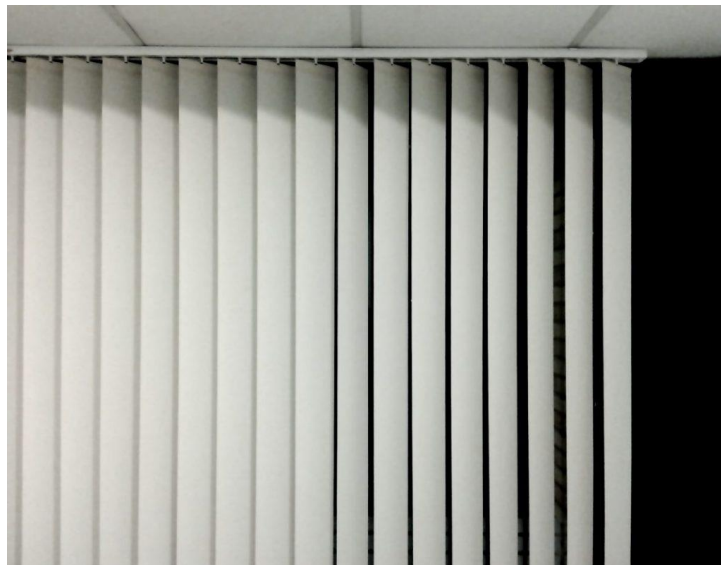


Figura 36. Cortina de lamas verticales orientables [34]

Actualmente se están introduciendo nuevos sistemas en el mercado con el objetivo de mayor eficiencia y protección con respecto a la energía solar. Así han aparecido vidrios con regulación de oscurecimiento mediante sensores en función de la incidencia del sol, o tintados para el oscurecimiento y la protección de los rayos del sol que por sí solos son paneles fotovoltaicos.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.4. PLIEGO DE CONDICIONES

El pliego de condiciones es uno de los apartados más importantes en este trabajo y en todo proyecto. Aquí se van a recoger los requisitos que debe cumplir la propuesta para que esta sea aceptada como buena, y es por eso que los datos que se van a presentar deben tenerse en cuenta como algo que se debe cumplir obligatoriamente durante el proceso de desarrollo.

Este documento es también una forma de limitar las características del sistema de oscurecimiento, ya que sin una serie de restricciones, las soluciones pueden llegar a ser infinitas. Por lo tanto, se convierte en un apartado imprescindible en el proyecto.

A continuación, se va hablar de una serie de características a tener en cuenta y la forma en la que deben estar restringidas en la propuesta final del sistema.

MATERIALES

A la hora de escoger materiales es importante determinar las propiedades que se quieren tener. El dispositivo debe proporcionar oscurecimiento de las aulas de forma que la sala quede protegida de la radiación solar para evitar gastos mayores de energía debido a la entrada del sol.

Para cumplir estas características el material principal que se va a utilizar para la fabricación del sistema de oscurecimiento es policarbonato compacto de control solar. Este material permite entrada de luz y disminuye el calentamiento interior debido a la radiación solar gracias a su característica de control solar, que reduce la transmitancia. Además, esta variante del policarbonato compacto proporciona protección ultravioleta frente a la radiación solar. Con un color oscuro (gris) se permite sombrear la habitación de forma que se consigue el oscurecimiento buscado.

El policarbonato es un material que es reciclable al final de su ciclo.

En la siguiente tabla se indican las propiedades de este tipo de policarbonato que son interesantes para este proyecto.

Tabla 1. Propiedades del policarbonato compacto de control solar [35] [36] [37]

Propiedades físicas	Densidad [Kg/m ³]	1200
Propiedades ópticas	Transmisión de luz	61%
	Transmisión solar	51%
	Porcentaje de sombreado	58%
Propiedades mecánicas	Alargamiento de rotura	150%
	Módulo de elasticidad [MPa]	2400
Propiedades térmicas	Conductividad térmica [W/mK]	0,21
	Temperatura de uso [°C]	-40/+120

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Otro de los materiales importantes a determinar es el del soporte que va a sujetar todo el sistema de oscurecimiento. Este estará hecho de chapa de acero de construcción (acero al carbono) S235.

En la siguiente tabla se indican las propiedades de este tipo de acero expuestas en el DB SE-A del Código Técnico de la Edificación.

Tabla 2. Propiedades del acero de construcción S235JR [38]

Tensión de límite elástico f_y [N/mm ²]	235
Tensión de rotura f_u [N/mm ²]	360
Módulo de elasticidad E [N/mm ²]	210 000
Módulo de rigidez G [N/mm ²]	81 000
Coefficiente de Poisson ν	0,3
Coefficiente de dilatación térmica α [°C ⁻¹]	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Densidad ρ [kg/m ³]	7 850

Los elementos auxiliares (unión de lamas, fijación de cables, tiradores) serán de caucho SBR, ya que es el tipo de caucho más utilizado en el mercado y pueden obtenerse piezas sobrantes de otras industrias fácilmente.

PLACA FOTOVOLTAICA

El tipo de placa fotovoltaica que se va a incorporar es del tipo de silicio amorfo flexible, con las características que se han explicado en el capítulo anterior (bases teóricas). Este tipo de placas es el que mejor se adapta al sistema que se va a diseñar, ya que la orientación del edificio viene dada y no se puede modificar y este tipo de placas captan luz no directa.

Además se pueden fabricar en distintos tamaños a encargo del demandante, y esto se adapta a las necesidades del proyecto porque las dimensiones de las placas son específicas para este uso.

GEOMETRÍA

La geometría del sistema será principalmente rectangular, en forma de lamas sujetas desde el techo. Estas lamas se colocarán verticalmente de manera que formarán una cortina a lo largo de cada una de las cristaleras del aula.

ESPESOR

Los espesores de los distintos elementos serán los siguientes:

- El espesor de las planchas de policarbonato de control solar que se van a utilizar es de 3 mm.
- El espesor de las placas fotovoltaicas es de 1,5 mm.
- La chapa de acero del soporte tendrá un espesor de 3 mm.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

ORIENTABLE

El sistema de oscurecimiento será orientable para regular la entrada o salida de luz dependiendo de la hora del día y la incidencia del sol en cada momento. Es importante que no gire en direcciones que no tengan sentido, es decir, que el soporte sea colocado de forma que el mecanismo de giro lo permita solamente en la dirección de movimiento del sol.

FIJACIÓN AL TECHO

Se definirá un tipo de fijación desmontable del soporte en un falso techo, ya que es el que se encuentra en el edificio.

PRUEBAS A SUPERAR

Para terminar con el pliego, la última condición necesaria es que el soporte del sistema tenga unas propiedades mecánicas suficientes para garantizar la sujeción. Por ello, se van a realizar una serie de simulaciones de comportamiento estático, y los resultados obtenidos deben determinar que es aceptable para que la propuesta sea válida.

3.5. PROCESO DE DISEÑO

Una vez expuestos los apartados previos a la determinación de un sistema concreto, el siguiente paso en el desarrollo de la propuesta es el de llevar a cabo un proceso de diseño. En este proceso se van a describir cada uno de los elementos que formarán parte del sistema de oscurecimiento, continuando con una explicación del funcionamiento del mecanismo de giro de lamas y un análisis mecánico del comportamiento del elemento de sujeción. Finalmente se determinarán los beneficios que se obtienen para el edificio gracias a la incorporación de placas solares.

3.5.1. COMPONENTES DEL SISTEMA

A continuación se va a hacer una descripción detallada de cada una de las piezas que componen el sistema de oscurecimiento.

LAMAS VERTICALES

Los elementos principales en el sistema que son los que se van a encargar del oscurecimiento del aula son las lamas verticales. Estas lamas están hechas de planchas de policarbonato de control solar de 3 mm de espesor, cuyas propiedades han sido especificadas en el pliego de condiciones. El color de las lamas es gris, de forma que proporcionan su función de oscurecer la sala.

Las lamas son orientables hasta un ángulo máximo de 90 grados. De esta manera su orientación permite que entre más o menos luz en el aula dependiendo del momento del día. Las personas que se encuentran dentro de la habitación podrán modificar esta orientación a su gusto.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La altura de las lamas es de 3,10 m.

Los componentes a destacar son los siguientes:

→ Tacos de policarbonato gris en la parte superior. Estos tacos tienen como misión hacer de correderas para modificar el ángulo de orientación en las lamas.

→ Abertura en la parte superior para facilitar el paso de cables de la placa fotovoltaica.

→ Taladros en la parte superior para introducir y fijar las correas que unirán las lamas de cada módulo. El diámetro de los mismos es de 12 mm.

→ En la zona central, alojamiento para la placa fotovoltaica a una altura de 1,45 m.

→ En las lamas que se encuentran en los extremos de cada módulo se encuentran dos taladros a una altura de 1,40 m y de 12 mm de diámetro para introducir dos tiradores que facilitarán la orientación manual de la lama.

Las uniones de las piezas que componen las lamas se hacen mediante soldadura, ya que el policarbonato es un material fácil de soldar y esto proporciona unas uniones seguras.

En las siguientes imágenes se muestra el modelo de una lama detallando los componentes importantes de la misma.

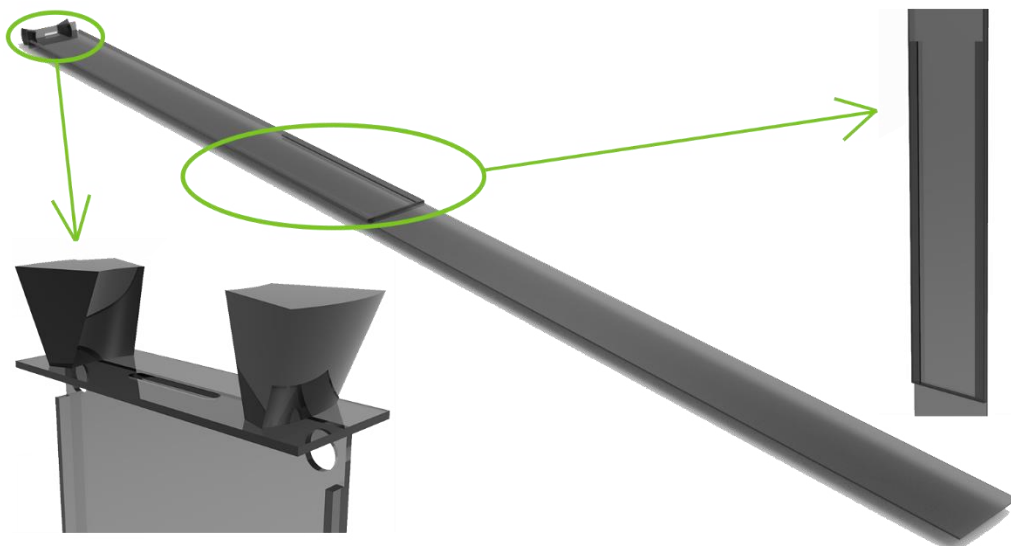


Figura 37. Lama orientable del sistema de control solar. Detalle de la parte superior y alojamiento de la placa fotovoltaica.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

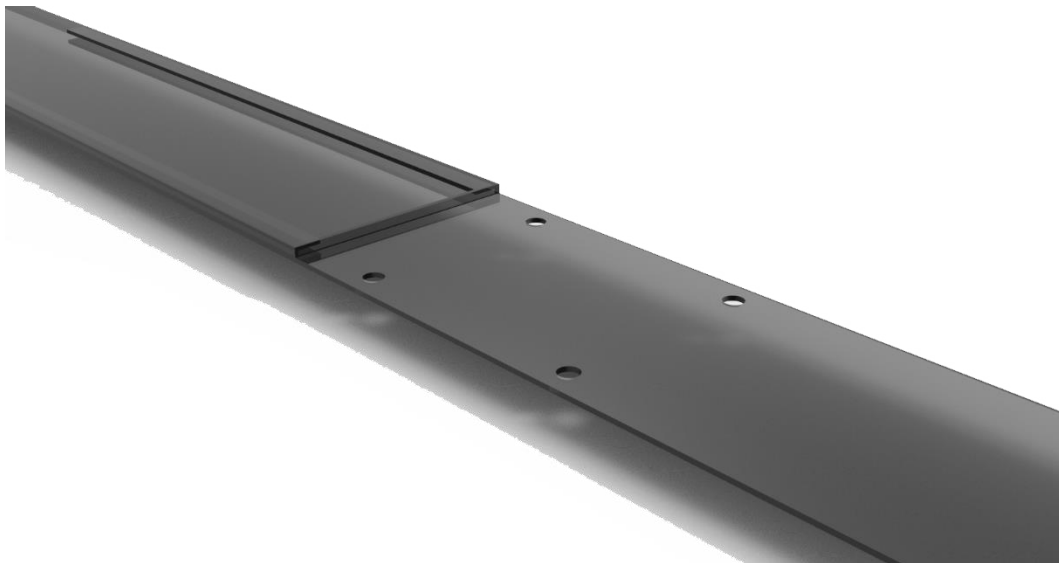
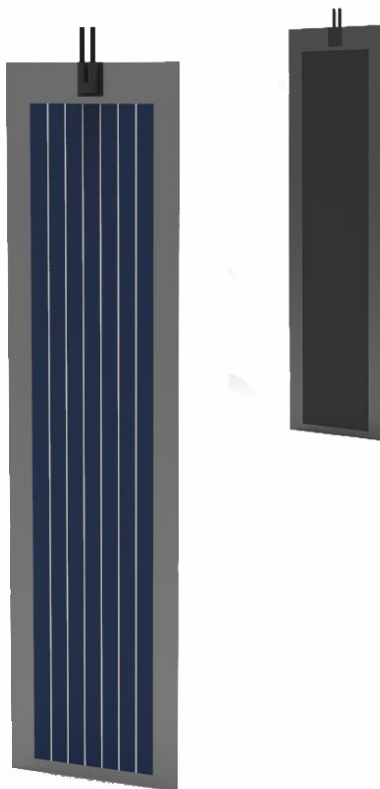


Figura 38. Detalle de taladros para los tiradores en las lamas de extremos

PLACA FOTOVOLTAICA

Como se ha mencionado anteriormente, la placa fotovoltaica seleccionada para incorporar al sistema de oscurecimiento es de tipo flexible de silicio amorfo.



Esta placa tiene unas dimensiones totales de 140x540 mm. Las dimensiones útiles serán de 100x500 mm y el espesor de la placa es de 1,5 mm.

Como se ha especificado en el pliego de condiciones y en el capítulo anterior, estas dimensiones son fáciles de obtener ya que es un tipo de placa que se puede cortar en tamaños a gusto del comprador.

Las placas van encajadas en la lama en el hueco a medida destinado a ello. El sistema de oscurecimiento permite encajar tantas placas como se quiera, ya que no es necesario que sean colocadas en cada una de las lamas.

Los cables suben por la lama hasta el soporte en el techo, donde serán fijados y conectados.

Figura 39. Placa fotovoltaica flexible de silicio amorfo

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

SOPORTE

Las lamas verticales irán unidas a un soporte que se encuentra fijo en el techo. Este soporte está fabricado para la incorporación modular de las lamas de 5 en 5. De esta forma se facilitan el transporte, el montaje, el mantenimiento y el propio mecanismo de orientación. En el caso de que sea necesario un módulo con un número menor de lamas el soporte se puede cortar.

El material del que está hecho es de acero de construcción S235, cuyas propiedades se han especificado en el pliego de condiciones. Se parte de planchas de 3 mm de espesor y como acabado se le incorpora una pintura del color verde mostrado en las imágenes.

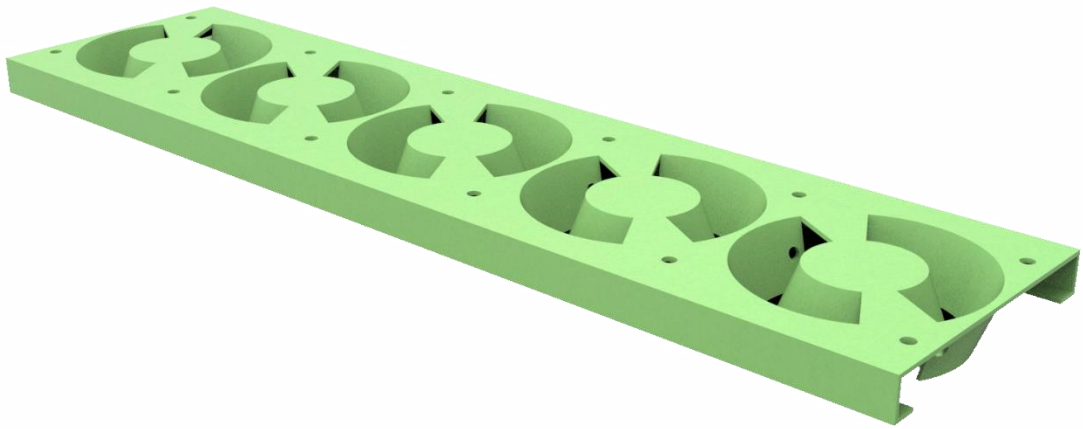


Figura 40. Soporte visto desde arriba

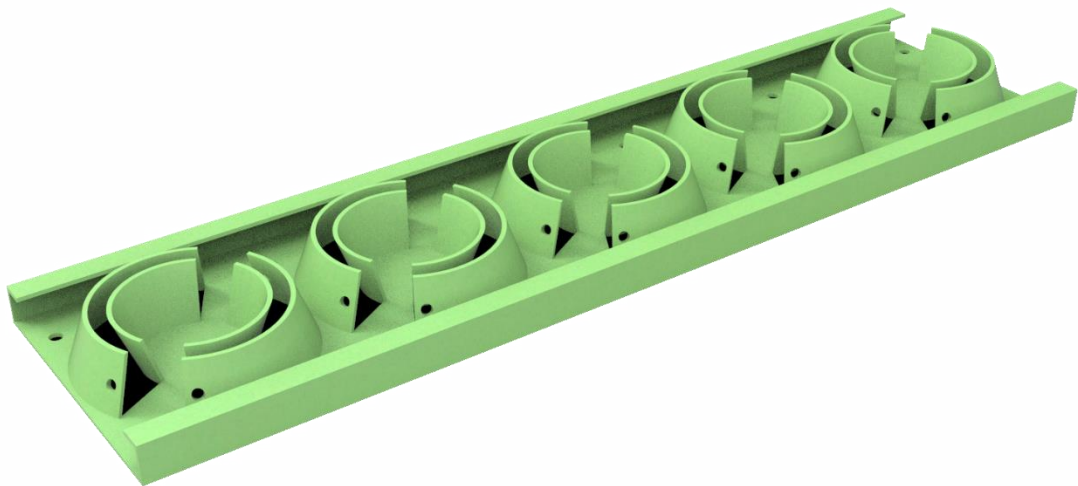


Figura 41. Soporte visto desde abajo

En el soporte se aprecian distintos componentes a destacar:

→ Taladros que se aprecian en la figura 40 para la fijación al techo del aula. Estos taladros tienen un diámetro de 9 mm. El anclaje del soporte está definido

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA



para un falso techo, que es el que se encuentra en las aulas del edificio. Este anclaje se llevará a cabo mediante tacos como el que se muestra en la siguiente imagen y pernos de diámetro 10 mm y largo 95 mm. (figura 42).

Figura 42. Taco y perno para el anclaje al techo del soporte [39]

→ Guías para las correderas de las lamas.

→ Taladros en las guías para incorporar las piezas auxiliares que tendrán la función de limitar el giro de las lamas. Los taladros tienen un diámetro de 7,5 mm.

→ Plegados laterales para la fijación de los cables de las placas.

Los elementos del soporte se fabricarán mediante plegado de la plancha de acero (laterales del mismo) y la unión de las guías se hará mediante soldadura.

ELEMENTOS AUXILIARES

Se ha denominado elementos auxiliares a aquellos que van a servir para ayudar al correcto funcionamiento del mecanismo de orientación de las lamas y facilitan la fijación y conexión de los cables.

Todos ellos son de caucho SBR y se pueden obtener a partir de planchas o tacos de este material sobrantes de otras industrias.

→ Taco cónico.

Estos elementos se colocarán en los taladros de las guías del soporte, y su función es la de establecer un tope en el ángulo de giro de las lamas. La forma de introducirlos en los taladros es manual, y con la suficiente fuerza quedan encajados gracias a su forma de tronco de cono.

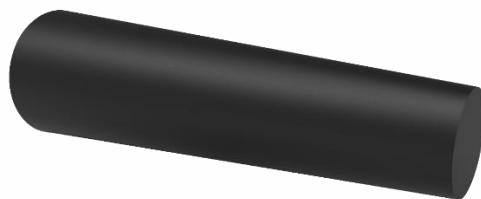


Figura 43. Taco cónico para hacer de tope en la corredera

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

→ Tirador.



Como se ha indicado anteriormente al describir las lamas, se colocan dos tiradores en cada una de las que se encuentren en el extremo del módulo.

Su fijación es manual. Al ser el caucho un material deformable los tacos cuadrados se introducen en los taladros y vuelven a su forma, de manera que queda el tirador colocado.

Figura 44. Tirador para abatir las lamas

→ Correa de unión.

Las correas de unión se encargan, como su propio nombre indica, de unir las lamas que se encuentran montadas en cada módulo.

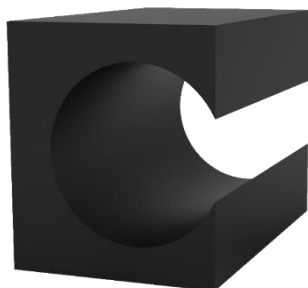
Su fijación se lleva a cabo de la misma forma que las piezas de tirador.



Figura 45. Correa de caucho para unión de lamas

→ Anclaje de cables.

Se colocan tantos elementos de anclaje de cables como sea necesario en el momento del montaje. Estas piezas facilitan que los cables de las placas fotovoltaicas no cuelguen y estén sujetos para que no haya problemas con su conexión y con el mecanismo de orientación.



Los cables se encajan fácilmente de forma manual en la pieza y quedan sujetos. Se fijan al soporte mediante un adhesivo de nitrilo de alto rendimiento para caucho.

Figura 46. Pieza para anclaje de cables

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.5.2. MECANISMO DE ORIENTACIÓN

El mecanismo de orientación es el que va a permitir el giro de las lamas para que entre más o menos luz en el aula dependiendo del momento del día y de la demanda de los usuarios del aula. El sistema propuesto tiene como añadido el aprovechamiento de la radiación solar que incide sobre las lamas mediante la incorporación de placas fotovoltaicas.

Es importante destacar que el soporte está diseñado para que se pueda colocar de manera que las lamas no giren en una dirección que no tenga sentido, sino que lo hagan atendiendo al movimiento del sol. De esta forma la cantidad de energía aprovechada será mayor. Teniendo en cuenta el estudio solar realizado, la instalación del sistema en el edificio estudiado debe ser de la siguiente forma:

- En la fachada suroeste las lamas deben girar en sentido antihorario.
- En la fachada noreste las lamas deben girar en sentido horario.

El mecanismo se basa en abatir manualmente una de las lamas que se encuentra en el extremo del módulo. El giro del resto de lamas se permite gracias a la conexión entre ellas.

El movimiento de giro de las lamas se lleva a cabo gracias a las correderas unidas en la parte superior de las mismas. Las correderas se encajan en las guías del soporte destinadas a ello y el ángulo girado es como máximo de 90°. De esta forma se podrá tapar completamente la cristalera e ir regulando el oscurecimiento hasta destapar la misma. En la siguiente imagen se muestra el mecanismo de guía-corredera de soporte y lamas mostrando distintos ángulos de orientación hasta terminar en los 90°.

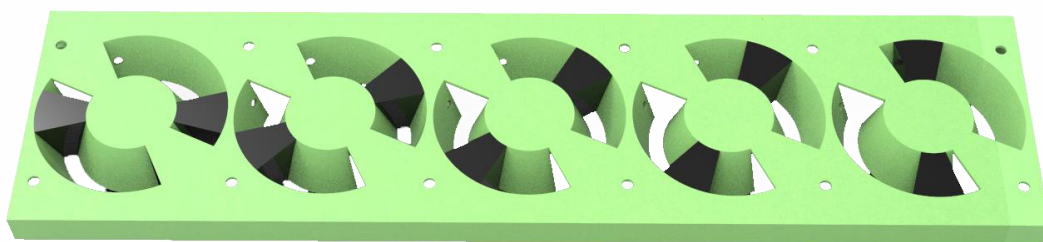


Figura 47. Etapas de movimiento de las correderas hasta un giro de 90°

Se ha indicado anteriormente que el soporte está dividido en módulos en los que se encajan cinco lamas. Estas lamas deben estar unidas de manera que al abatir la del extremo el resto giren el mismo ángulo y a la vez. La unión se lleva a cabo mediante las correas de unión expuestas anteriormente. Se colocan una en las caras vistas desde el aula y otra en las caras que dan hacia la ventana para permitir el giro de ida y vuelta. En la siguiente figura se ven las

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

dos correas colocadas de forma que las cinco lamas pueden girar en sentido antihorario.

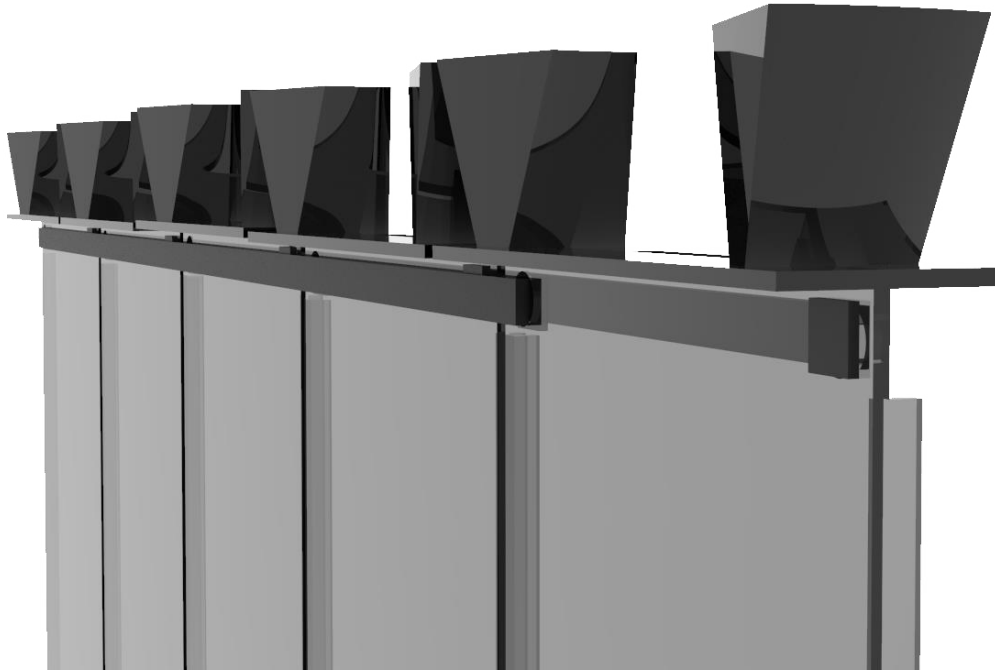


Figura 48. Unión de lamas en cada módulo mediante correas

Como ya se ha mencionado, la orientación de las lamas se modifica manualmente en cada módulo. Para ayudar al usuario a girarla se colocan dos tiradores, descritos anteriormente, de la forma que se muestra en la siguiente imagen.

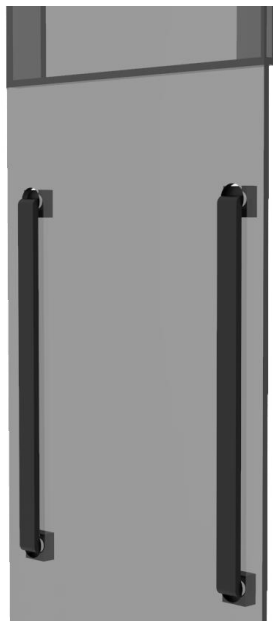


Figura 49. Tiradores de lama en el extremo de cada módulo

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El último elemento importante en el mecanismo son los tacos cónicos cuya función es limitar el giro de las lamas y evitar que se salgan de las guías. Para cada una de ellas se colocan cuatro tacos, tal y como se aprecia en la figura 50.

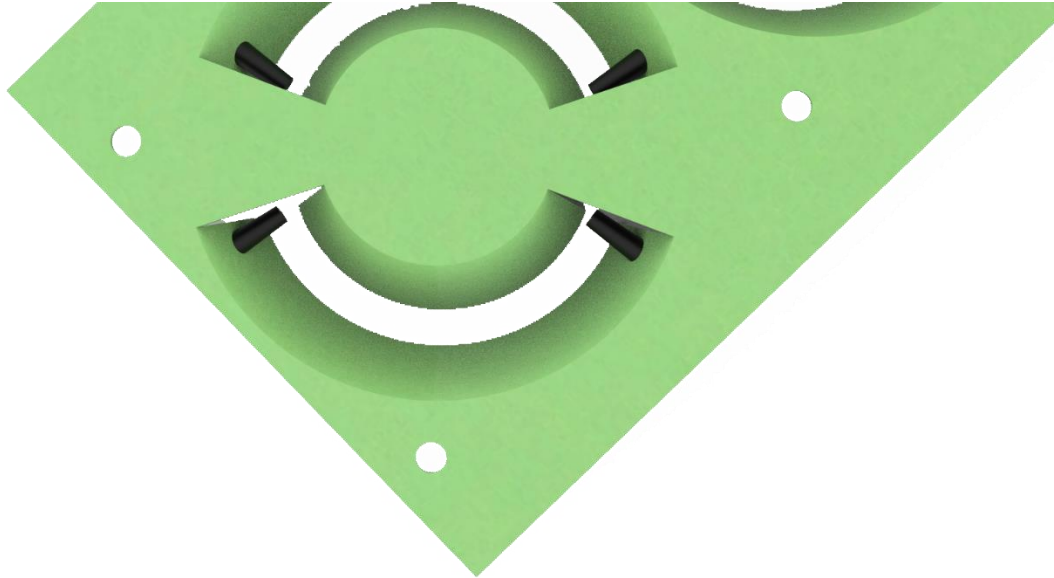


Figura 50. Colocación de tacos para restringir el giro en las correderas

Por último en las siguientes imágenes se muestra cómo van anclados los cables en el soporte para impedir que se interpongan en el mecanismo descrito.

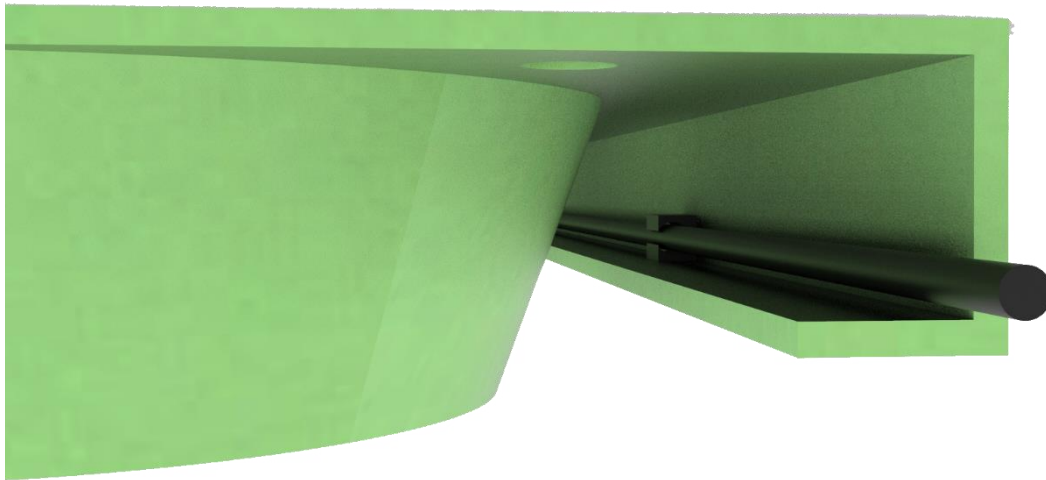


Figura 51. Sujeción de cables en el soporte en la zona lateral

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

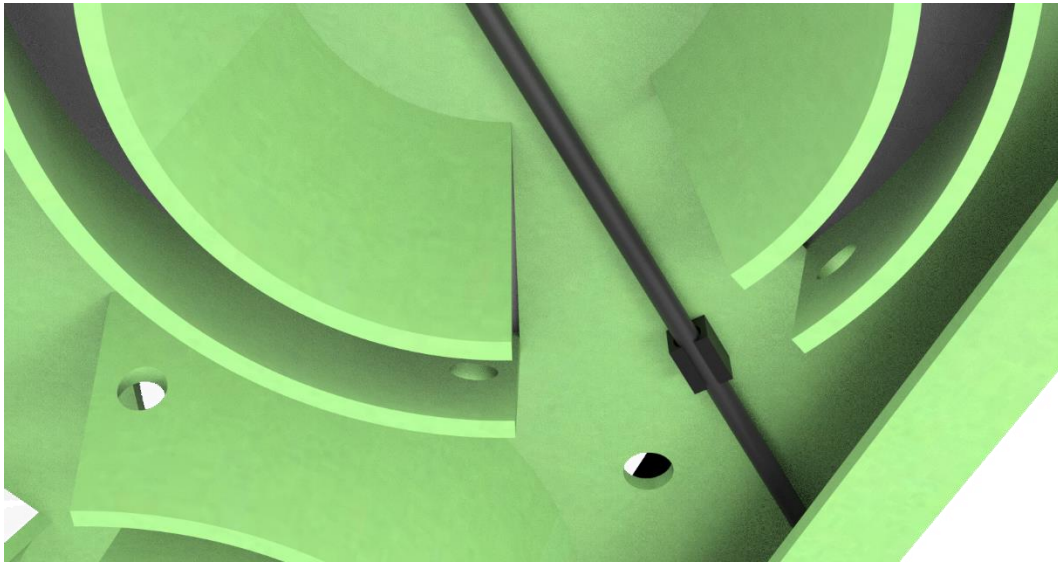


Figura 52. Sujeción de cables en el soporte en la zona del techo

3.5.3. ANÁLISIS MECÁNICO

En este apartado se expondrán los resultados del análisis estático de tensiones que se ha realizado al soporte para comprobar que este cumple con una de las condiciones del pliego (pruebas a superar). Esta simulación se ha llevado a cabo con el programa Autodesk Inventor Professional que utiliza el método de elementos finitos (MEF).

Para hacer este análisis en primer lugar es necesario definir el material del que está hecho y aplicar una serie de restricciones, que definirán las superficies fijas y las superficies en las que está impedido el desplazamiento en alguna de las direcciones de los ejes. Por último se aplicaran las fuerzas o presiones que generarán tensión en las caras correspondientes.

DEFINICIÓN DE MATERIAL

El material que se ha definido es el ya descrito anteriormente en el pliego de condiciones, acero S235. Para ello se han introducido como propiedades las expuestas en la tabla 2.

RESTRICCIONES

La única restricción necesaria a aplicar en el caso de este análisis es que la cara superior del soporte sea fija, ya que este va así anclado al techo y el resto de elementos no tienen ninguna restricción de movimiento.

En la siguiente imagen se aprecia el símbolo en color blanco que indica este tipo de restricción.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

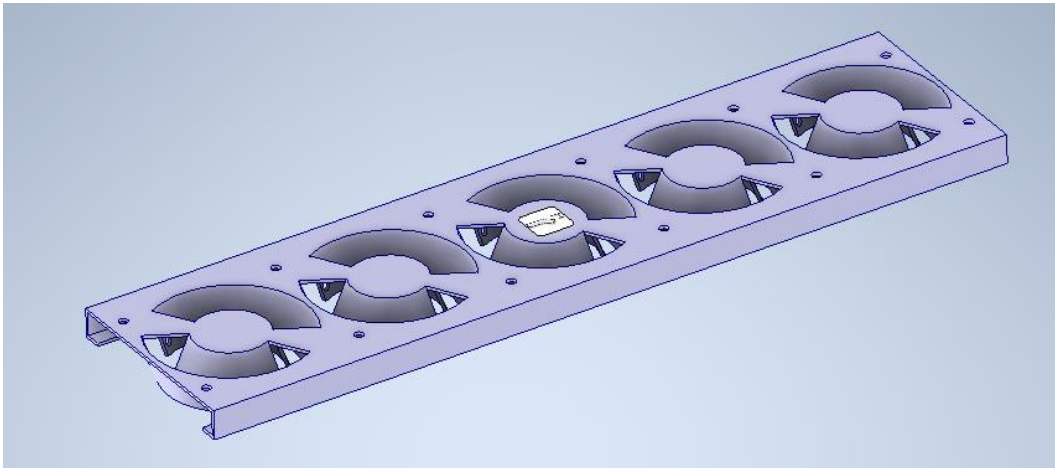


Figura 53. Restricción fija en la cara superior del soporte

APLICACIÓN DE FUERZAS

Para obtener la fuerza que se debe aplicar sobre el soporte en primer lugar se ha procedido a calcular el peso de cada lama:

- Densidad del policarbonato: 1200 kg/m^3
- Cálculo del volumen de la plancha general de dimensiones $0,15 \times 3,1 \text{ m}$ con un espesor de 3 mm :

$$\text{volumen}_{\text{plancha general}} = 0,15 \cdot 3,1 \cdot 0,003 = 0,001395 \text{ m}^3$$

- Cálculo de la masa de la plancha general:

$$\text{masa}_{\text{plancha general}} = \text{densidad} \cdot \text{volumen} = 1200 \cdot 0,001395 = 1,674 \text{ kg}$$

- Cálculo del peso de la plancha general:

$$\text{Peso}_{\text{plancha general}} = \text{masa} \cdot \text{gravedad} = 1,674 \cdot 9,8 = 16,41 \text{ N}$$

Aproximando que se le añadiría el peso del resto de elementos que forman la lama y la placa, se harán los cálculos en el programa con un peso de 20 N cada lama (2,04 kg).

El soporte tiene que aguantar un peso total de 100 N , ya que cada módulo tiene 5 lamas.

Esta fuerza se ha aplicado repartida en las caras en las que van encajadas las correderas en dirección perpendicular a las mismas. Como cada lama va apoyada en 4 caras, la fuerza colocada en cada una tendrá un valor de:

$$F_{\text{por cara}} = \frac{20}{4} = 5 \text{ N}$$

En la siguiente imagen se muestra el reparto de fuerzas en el soporte, todas del mismo valor (5 N) y repartidas uniformemente en cada cara.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

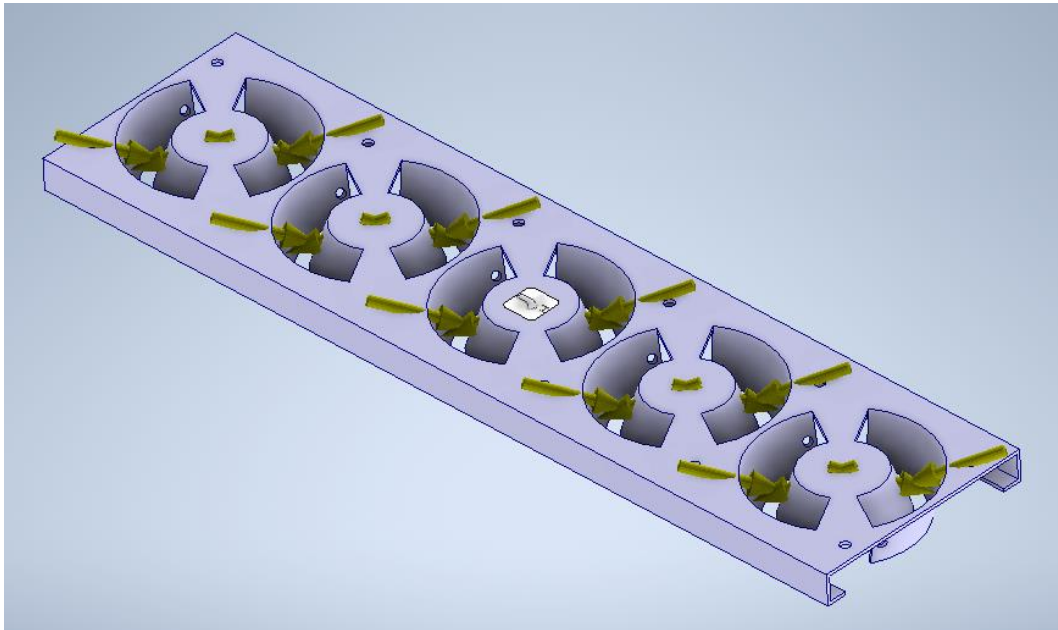


Figura 54. Fuerzas aplicadas en el soporte

3.5.3.1. Valores obtenidos

Tras haber preparado todos los aspectos anteriores se puede proceder a hacer la simulación de tensiones. Los valores que se van a considerar importantes de evaluar una vez realizado son los siguientes:

→ Tensión de Von Mises.

Las tensiones y deformaciones tridimensionales siempre se desarrollan en varias direcciones. Una forma de expresar estas tensiones multidireccionales consiste en resumirlas en una tensión equivalente, la cual se denomina comúnmente tensión de Von Mises.

Según un criterio existente, denominado de Von Mises, esta tensión ayuda a concluir si la pieza sobre la que se está realizando el estudio plastifica o no, es decir, si debido a sus propiedades el material sufre deformaciones permanentes al aplicar la fuerza. Esto se deduce comparando esta tensión con el límite elástico del material, siguiendo el criterio:

Si $T. Von Mises \leq \text{Límite elástico } (\sigma_e) \rightarrow \text{ El material no plastifica}$

El valor de la tensión de Von Mises viene dado en MPa.

→ Desplazamiento máximo.

Otro de los valores que calcula el software es el de los desplazamientos. El desplazamiento consiste en la deformación que sufre la pieza al aplicar las tensiones, y es útil a la hora de tener en cuenta la zona en la que se produce la deformación máxima (donde se encuentra el desplazamiento máximo), ya que, en el caso de que sea un

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

desplazamiento demasiado grande, habrá que modificar de alguna forma el diseño para evitar este valor.

El resultado del desplazamiento máximo viene dado en mm.

→ Coeficiente de seguridad.

El coeficiente o factor de seguridad es el cociente entre el límite elástico y la tensión máxima que se produce al aplicar las fuerzas. Da una idea de cómo es de seguro el elemento que se está analizando, es decir, cuando este valor es mayor que 1 no se producirán deformaciones plásticas.

Tras haber realizado varias simulaciones se han obtenido unos resultados que muestran unos porcentajes de convergencia aceptables (cuanto menor es el porcentaje más fiables son los resultados). En la tabla y las imágenes siguientes se indican estos valores y los porcentajes de convergencia.

Tabla 3. Valores resultados de la simulación

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	820666 mm ³	
Masa	6,44223 kg	
Tensión de Von Mises	0,0000004906 MPa	0,252723 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,000175229 mm
Coeficiente de seguridad	15 su	15 su

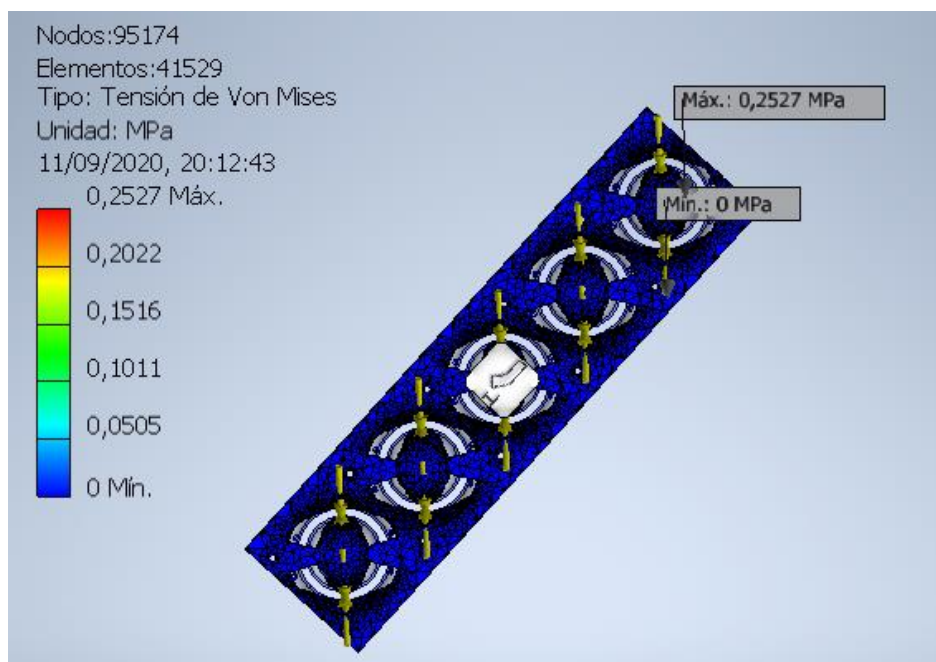


Figura 55. Tensión de Von Mises

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

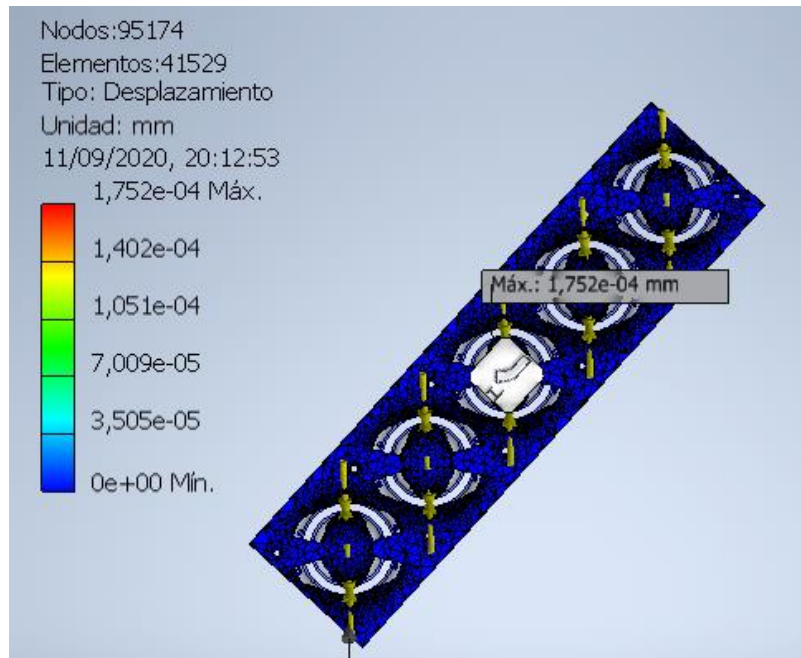


Figura 56. Desplazamiento máximo

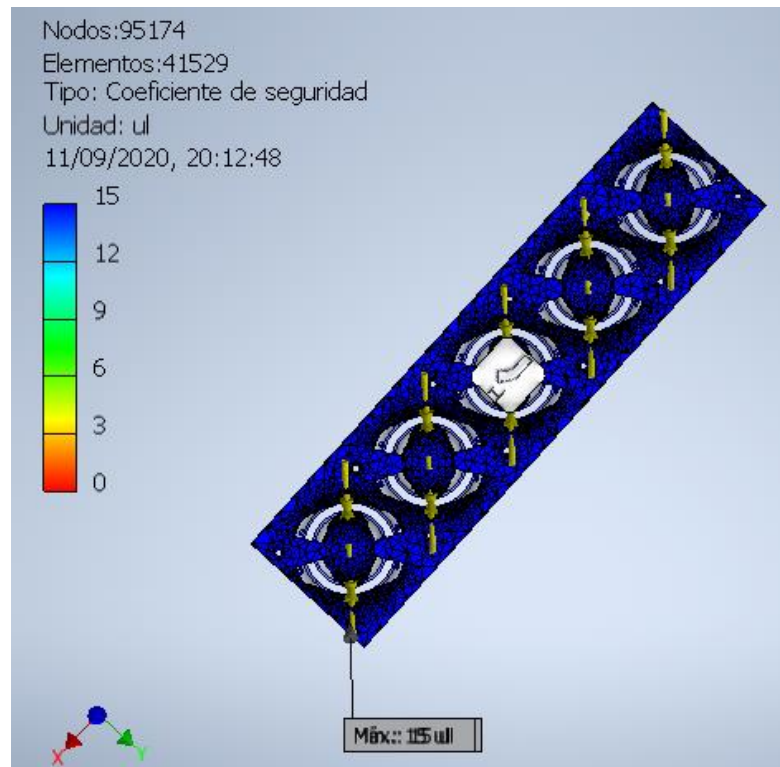


Figura 57. Coeficiente de seguridad

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

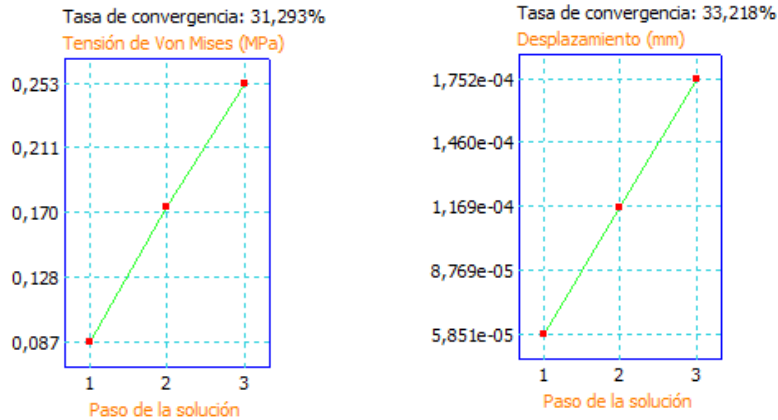


Figura 58. Tasas de convergencia

3.5.3.1. Conclusiones del análisis mecánico

Tras haber analizado la resistencia del soporte se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El material no sufre deformaciones permanentes, y está muy lejos de sufrirlas. La tensión de Von Mises (0,2527) MPa es muy pequeña en comparación con el límite elástico (235 MPa). De la misma forma el coeficiente de seguridad (15) es mucho mayor que 1, por lo tanto se está trabajando del lado de la seguridad.
- El desplazamiento máximo con un valor de 0,00018 mm es muy pequeño, por lo tanto el soporte no se va a deformar de manera apreciable ni preocupante.
- No ha sido necesario que los porcentajes de convergencia sean muy pequeños, ya que a simple vista el material es muy resistente atendiendo a las cargas a las que está sometido.

3.5.4. CONEXIÓN DE PLACAS

Para conectar las placas hay que tener en cuenta el número de estas que se van a montar en cada aula. El edificio de aulas en el que se centra el proyecto tiene 4 aulas en cada planta. Las paredes con ventanales de cada una de las cuatro habitaciones tienen un largo de 11 metros en las aulas 1 y 3 y un largo de 12 metros en las aulas 2 y 4. Las cristalerías de cada clase están divididas en dos mediante un pilar. Teniendo esto en cuenta el número de lamas colocadas en cada tramo de aula es:

- Aulas 1 y 3: Dos hileras de lamas de 36 cada una. 72 lamas en total en cada aula; 14 soportes de módulo completo (5 lamas) y dos soportes con una lama.
- Aulas 2 y 4: Dos hileras de lamas de 39 cada una. 78 lamas en total en cada aula; 14 soportes de módulo completo (5 lamas) y dos soportes con 4 lamas.

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La colocación de las placas que se toma como referencia en este proyecto es tal que estas se colocan alternadas en las lamas, es decir, en una lama sí hay placa, en la siguiente no, en la siguiente sí...etc. Siguiendo esta regla el número de placas instaladas en cada hilera es:

- Aulas 1 y 3: 18 placas en cada una de las hileras. 36 placas en total en el aula.
- Aulas 2 y 4: 19 placas en cada una de las hileras. 38 placas en total en el aula.

Las características de cada una de las placas fotovoltaicas son:

- Potencia: 6 W.
- Tensión: 12 V.
- Intensidad: 0,5 A.

Para llevar a cabo la conexión de las placas fotovoltaicas hay que tener en cuenta que son necesarios los siguientes elementos. Estos se deben colocar al final del circuito de conexión y a partir de ellos se aprovecha directamente la energía eléctrica generada:

- Regulador de carga solar. Se conecta después de las placas. Se encarga de controlar el flujo de energía que llega a la batería para evitar que se descargue.
- Batería o acumulador solar. Se conecta entre el regulador y el alternador. En este dispositivo se almacena la energía que no se está utilizando para darle uso posteriormente.
- Transformador o inversor. Se conecta después de la batería. Convierte la corriente continua en corriente alterna.
- Conectores MC4 dobles. Este tipo de elementos facilitan el modo de conexión de las placas y lo hacen más seguro.



Figura 59. Conectores MC4 dobles [40]

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

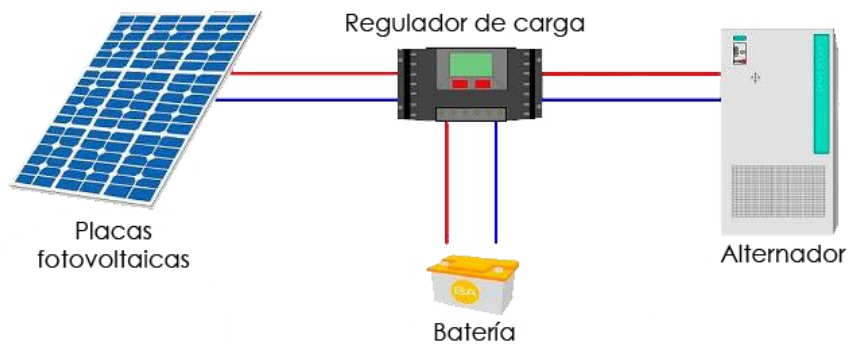


Figura 60. Esquema de conexión de elementos después de las placas

La forma de conexión se lleva a cabo en paralelo, ya que es el tipo que se recomienda para placas con potencias menores de 200 W. Como se ha podido ver en las imágenes en las que aparecen los paneles mostradas anteriormente, cada uno de ellos tiene dos cables. Estos cables se corresponden con los polos positivo y negativo. Para llevar a cabo la conexión en paralelo se hace de tal forma que estén conectados todos los polos positivos y todos los polos negativos por separado.

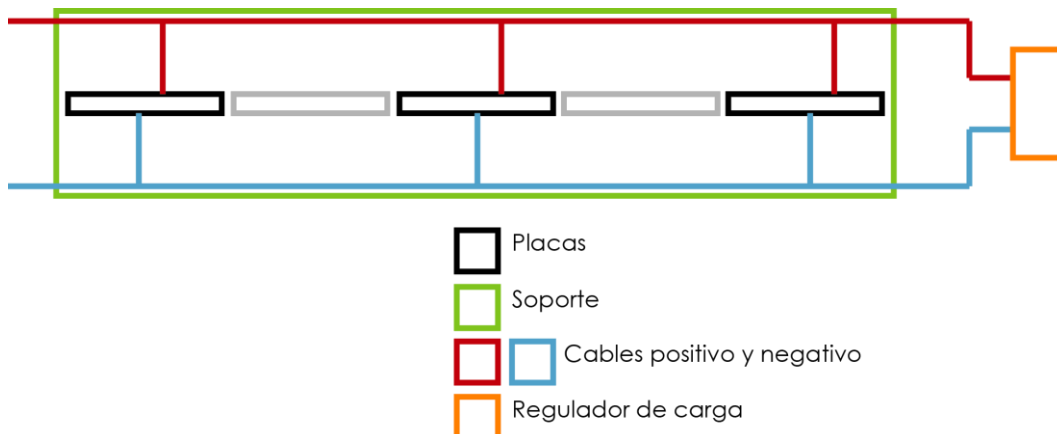


Figura 61. Esquema de la conexión de placas en paralelo

Las características que se consiguen en la instalación mediante esta forma de unión de los cables son las siguientes:

→ Suma de potencias al llegar al regulador.

Las potencias obtenidas en cada aula son las siguientes

- Aulas 1 y 3: 108 W en cada hilera. 216 W en cada aula.
- Aulas 2 y 4: 114 W en cada hilera. 228 W en cada aula.

Por tanto la potencia total que se puede aprovechar en cada planta del edificio es de:

$$Potencia_{planta} = 216 \cdot 2 + 228 \cdot 2 = 888 \text{ W}$$

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Y en las 6 plantas del edificio:

$$Potencia_{edificio} = 888 \cdot 6 = 5328 \text{ W} = 5,328 \text{ kW}$$

→ Misma tensión al llegar al regulador.

Por tanto la tensión al final de cada circuito es de 12 V.

→ Suma de intensidades al llegar al regulador.

Por tanto al final de cada circuito la intensidad de corriente tiene un valor de:

- Aulas 1 y 3: $0,5 \cdot 18 = 9 \text{ A}$

- Aulas 2 y 4: $0,5 \cdot 19 = 9,5 \text{ A}$

Se hace finalmente la propuesta de que la potencia generada pueda ser aprovechada para funcionamiento de:

- Proyector. Consumo alrededor de 400 W.

- Ordenador. Consumo aproximado de 180 – 200 W.

- Fluorescentes o bombillas LED. Consumo aproximado de 10 – 15 W.

3.6. PROPUESTA FINAL

En este último apartado del capítulo se expone una galería de imágenes con el sistema montado con todos sus elementos.

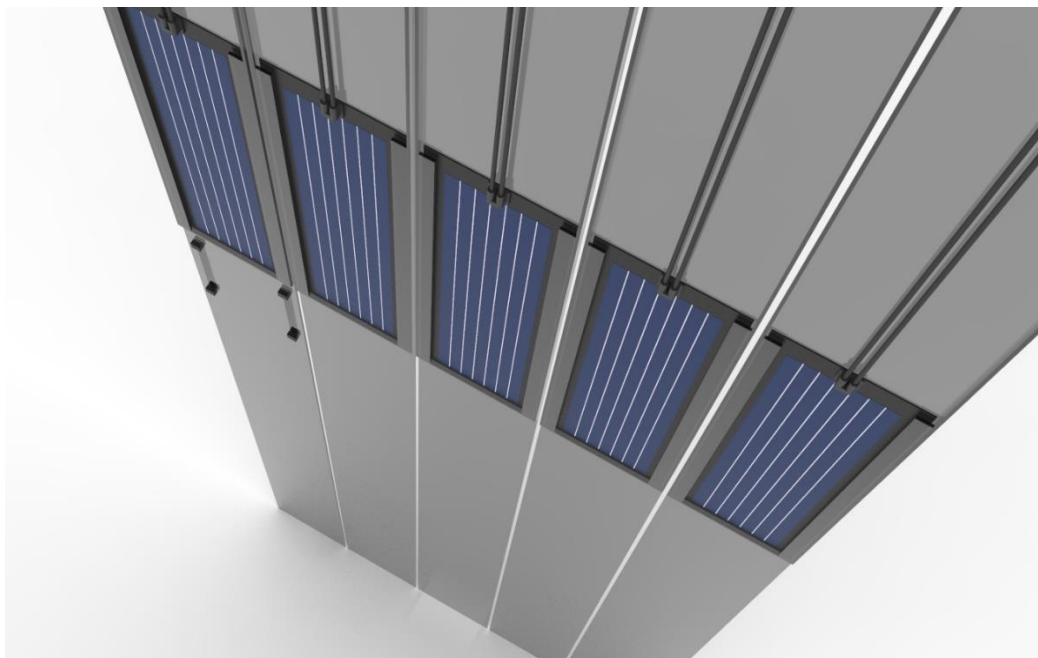


Figura 62. Módulo con placas en todas las lamas

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

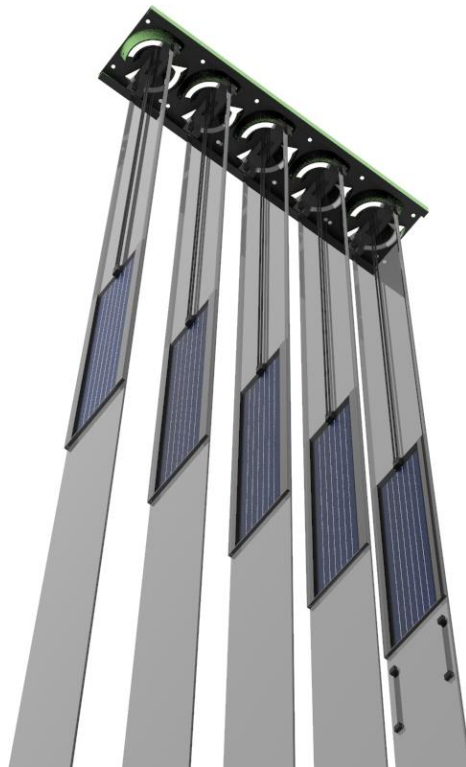


Figura 63. Módulo con lamas abiertas

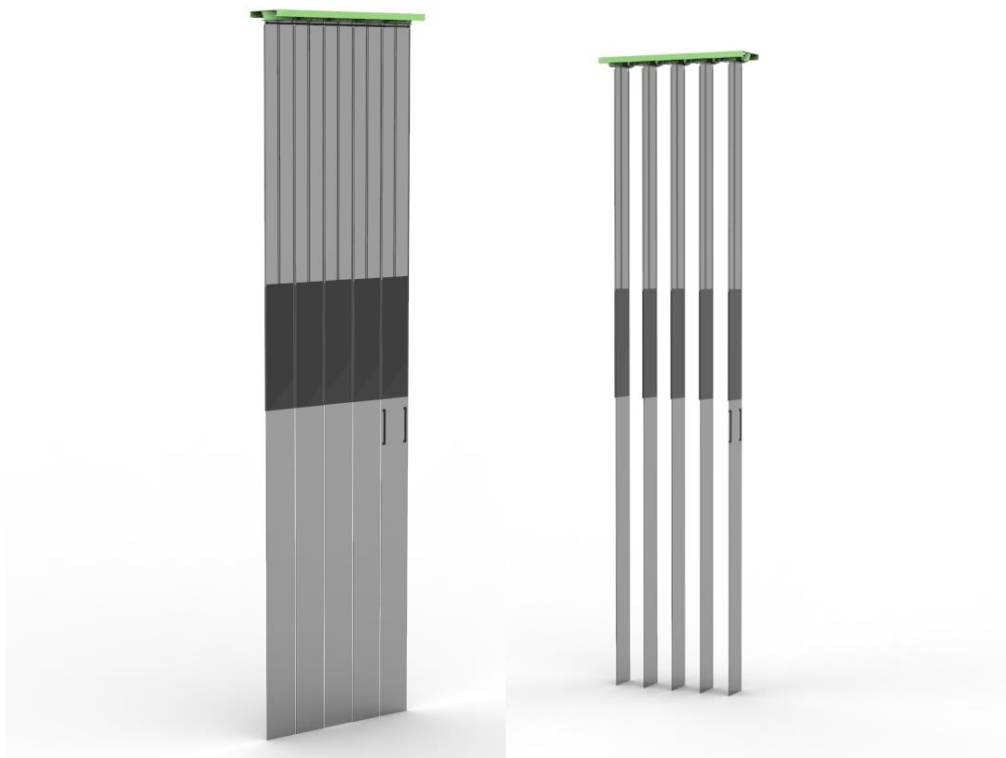


Figura 64. Módulo con lamas abiertas y cerradas. Vista desde interior del aula

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA



Figura 65. Aula con lamas cerradas



Figura 66. Vista del sistema desde el exterior con lamas cerradas

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA



Figura 67. Aula con lamas cerradas y abiertas

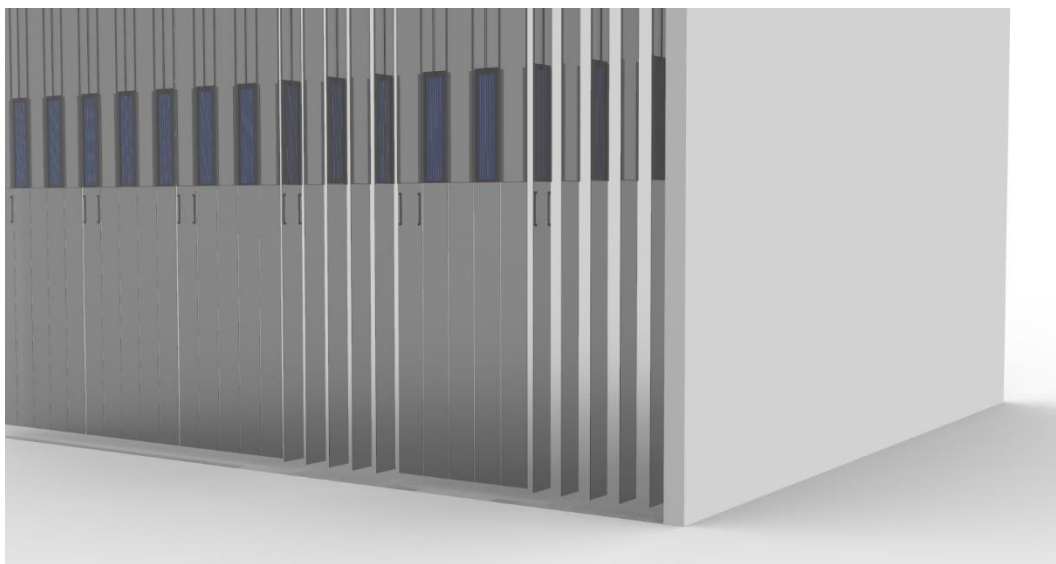


Figura 68. Vista del sistema desde el exterior con lamas abiertas y cerradas

CAPÍTULO 4

Análisis de costes

4.1. Introducción al análisis de costes	91
4.2. Coste de fabricación	91
4.2.1. Material	91
4.2.2. Mano de obra directa	92
4.2.3. Puesto de trabajo	94
4.3. Mano de obra indirecta	94
4.4. Cargas sociales	94
4.5. Gastos generales	95
4.6. Coste total en fábrica	95
4.7. Beneficio industrial	95
4.6. Precio de venta en fábrica	95

4. ANÁLISIS DE COSTES

4.1. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE COSTES

En este capítulo se va a llevar a cabo un análisis del coste que supone la fabricación e instalación del sistema de oscurecimiento en el edificio. De esta forma se puede llegar a un precio de venta en fábrica del sistema propuesto.

4.2. COSTE DE FABRICACIÓN

El coste de fabricación viene dado por la suma de material, mano de obra directa y puesto de trabajo:

$$\text{Coste de fabricación} = \text{Material} + \text{m. o. d.} + \text{puesto de trabajo} \quad \text{Ec. 1}$$

4.2.1. MATERIAL

El número de módulos a fabricar para instalar el sistema en todo el edificio es de 360.

Tabla 4. Número de piezas a fabricar

COMPONENTE	Número de piezas		m2 por unidad	kg por unidad
	Por módulo	360 módulos		
Lama (policarbonato)	5	1800	1044	-
Soporte (acero S235)	1	360	-	6,38
Taco cónico (caucho SBR)	20	7200	0,0008	-
Tirador (caucho SBR)	2	720	0,005	-
Correa de unión (caucho SBR)	2	720	0,018	-
Anclaje cables (caucho SBR)	10	3600	0,000418	-

Para calcular la cantidad de material necesario en bruto se tiene en cuenta que el desperdicio de material es un 6%. El número de módulos totales que se necesitan fabricar para el edificio es de 60 por cada planta, y como son 6 plantas serán 360 en total.

Tabla 5. Coste de material para fabricación

MATERIAL	Peso (kg)			Área (m ²)			Precio (€)	
	Neto		Bruto (6%)	Neto		Bruto (6%)	€/kg - €/m ²	Total
	Por módulo	Para 360 módulos		Por módulo	Para 360 módulos			
Policarbonato	-	-	-	5,22	1879	1991,95	32,75	65236,36
Acero S235	6,38	2296,8	2434,61	-	-	-	1,01	2458,96
Caucho SBR	-	-	-	0,0662	23,82	25,25	7,21	182,05
							Total material	67877,37

El coste del material que se adquiere ya elaborado es el precio de compra.

4. ANÁLISIS DE COSTES

Tabla 6. Coste de material ya elaborado

COMPONENTE	€ unitario	€ por módulo/hilera	€ 360 módulos	
Placa	17,5	43,75	15750	
Tacos sujeción soporte	0,63	7,56	2721,6	
Regulador de carga	45	1	2160	*
Batería o acumulador	184,53	1	8857,44	*
Alternador	72,54	1	3481,92	*
Conector MC4	2,95	4	566,4	*
Adhesivo caucho SBR	26,57	-	26,57	
* No se han obtenido los precios por módulo si no por hilera, habiendo 48 hileras en el edificio		TOTAL	33563,93	

4.2.2. MANO DE OBRA DIRECTA

El coste de m.o.d. viene dado por la suma del tiempo de fabricación y el tiempo de montaje multiplicados por el jornal correspondiente de cada uno:

$$m. o. d. = \sum (T_{fabricación} \cdot J_{fabricación}) + \sum (T_{montaje} \cdot J_{montaje}) \quad Ec. 2$$

4. ANÁLISIS DE COSTES

Tabla 7. Coste mano de obra directa

LAMAS					
Tarea	Tiempo (s)	Operario	Jornal (€/h)	T (h)	T · J
Corte de las planchas	180	Peón	8,1	0,050	0,4050
Soldadura de las piezas	300	Especialista	8,5	0,083	0,7083
Coste m.o.d. unidad					1,1133
Coste m.o.d. lote 1800					2004,00
SOPORTE					
Tarea	Tiempo (s)	Operario	Jornal (€/h)	T (h)	T · J
Corte de las planchas	120	Peón	8,1	0,033	8,1333
Plegado de base	60	Especialista	8,5	0,017	8,5167
Plegado de guías	40	Especialista	8,5	0,011	8,5111
Taladros	15	Especialista	8,5	0,004	8,5042
Soldadura de las piezas	300	Especialista	8,5	0,083	8,5833
Coste m.o.d. unidad					42,2486
Coste m.o.d. lote 360					15209,50
TACO CÓNICO					
Tarea	Tiempo (s)	Operario	Jornal (€/h)	T (h)	T · J
Moldeo de taco	180	Especialista	8,5	0,050	0,4250
Coste m.o.d. unidad					0,4250
Coste m.o.d. lote 7200					3060,00
TIRADOR					
Tarea	Tiempo (s)	Operario	Jornal (€/h)	T (h)	T · J
Corte de las planchas	60	Peón	8,1	0,017	0,1350
Pegado de piezas	40	Peón	8,1	0,011	0,0900
Coste m.o.d. unidad					0,2250
Coste m.o.d. lote 720					162,00
CORREA DE UNIÓN					
Tarea	Tiempo (s)	Operario	Jornal (€/h)	T (h)	T · J
Corte de las planchas	120	Peón	8,1	0,033	0,2700
Pegado de piezas	100	Peón	8,1	0,028	0,2250
Coste m.o.d. unidad					0,4950
Coste m.o.d. lote 720					356,40
ANCLAJE DE CABLES					
Tarea	Tiempo (s)	Operario	Jornal (€/h)	T (h)	T · J
Corte de tacos	20	Peón	8,1	0,006	0,045
Taladro	10	Especialista	8,5	0,003	0,024
Coste m.o.d. unidad					0,0686
Coste m.o.d. lote 3600					247,00
MONTAJE					
Tarea	Tiempo (s)	Operario	Jornal (€/h)	T (h)	T · J
Anclaje de soporte	240	Peón	8,1	0,067	0,5400
Colocación de lama	20	Peón	8,1	0,006	0,0450
Colocación de taco cónico	5	Peón	8,1	0,001	0,0113
Colocación de correa de unión	30	Peón	8,1	0,008	0,0675
Colocación de tirador	15	Peón	8,1	0,004	0,0338
Encaje de placa	5	Peón	8,1	0,001	0,0113
Conexión de cables	3	Especialista	8,5	0,001	0,0071
Inspección final	60	Oficial de 1ª	10,4	0,017	0,1733
Coste m.o.d. unidad					0,8892
Coste m.o.d. lote de cada elemento					447,19
Coste m.o.d. (€)	21486,09				

4. ANÁLISIS DE COSTES

4.2.3. PUESTO DE TRABAJO

El coste del puesto de trabajo viene dado por la suma de interés, amortización, mantenimiento y energía:

$$f = Ih + Ah + Mh + Eh \quad \text{Ec. 3}$$

En el caso de este proyecto se va a tener en cuenta solo el coste debido a la amortización. Este valor depende del precio (C), los años de amortización (p) y las horas de funcionamiento en un año (Hf):

$$Ah = \frac{C/p}{Hf} \quad \text{Ec. 4}$$

Tabla 8. Coste del puesto de trabajo

MÁQUINA	Precio (€)	Amortización (años)	Funcionamiento (h/año)	Amortiz. (€/hora)
Sierra de corte	150	10	1800	0,00833
Plegadora de chapa	955	10	1500	0,06367
Taladro de columna	581,18	10	1000	0,05812
Equipo de soldadura	1415	15	1200	0,07861
Equipo de moldeo	6045,85	15	800	0,50382
			Total	0,71

Suponiendo que la fabricación y el montaje se llevan a cabo durante un mes de días laborables (30 días) y que las horas de trabajo cada día son 8:

$$0,71 \cdot 8 = 5,68 \text{ €/día}$$

$$\text{Coste puesto de trabajo} = 5,68 \cdot 30 = \mathbf{170,40 \text{ €}}$$

Sustituyendo en la ecuación 1:

$$C.F. = (67\,877,37 + 33\,563,93) + 21\,486,09 + 170,40 = \mathbf{123\,097,79 \text{ €}}$$

4.3. MANO DE OBRA INDIRECTA

Se toma como coste de mano de obra indirecta el 20% del coste de mano de obra directa:

$$m.o.i = 0,2 \cdot m.o.d. = 0,2 \cdot 21\,486,09 = \mathbf{4\,297,22 \text{ €}}$$

4.4. CARGAS SOCIALES

El coste de cargas sociales supone un 20% de la suma del coste de mano de obra directa e indirecta:

$$C.S. = 0,2 \cdot (m.o.d. + m.o.i) = 0,2 \cdot (21\,486,09 + 4\,297,22) = \mathbf{5\,156,66 \text{ €}}$$

4. ANÁLISIS DE COSTES

4.5. GASTOS GENERALES

Se toman como gastos generales el 15% del coste de m.o.d.:

$$G.G. = 0,15 \cdot m.o.d. = 0,15 \cdot 21\,486,09 = \mathbf{3\,222,91\ €}$$

4.6. COSTE TOTAL EN FÁBRICA

El coste total en fábrica viene dado por la suma de todos los costes calculados anteriormente:

$$\begin{aligned} C_t &= C.F. + m.o.i. + C.S. + G.G \\ &= 123\,097,79 + 4\,297,22 + 5\,156,66 + 3\,222,91 \\ &= \mathbf{135\,774,58\ €} \end{aligned}$$

4.7. BENEFICIO INDUSTRIAL

Se espera un beneficio industrial de un 15% del coste total en fábrica:

$$B.i. = 0,15 \cdot C_t = 0,15 \cdot 135\,774,58 = \mathbf{20\,366,19\ €}$$

4.6. PRECIO DE VENTA EN FÁBRICA

El precio de venta en fábrica es la suma del coste total y el beneficio industrial:

$$P_v = C_t + B.i. = 135\,774,58 + 20\,366,19 = \mathbf{156\,140,77\ €}$$

Una vez obtenido el precio de venta en fábrica del sistema para todo el edificio se puede establecer el precio unitario de cada módulo, sabiendo que el número de módulos necesario es de 360:

$$P_u = \frac{156\,140,77}{360} = \mathbf{433,72\ €}$$

Por último se debe añadir el 21% de IVA:

$$P_u(IVA) = 433,72 + 0,21 \cdot 433,72 = \mathbf{524,80\ €}$$

CAPÍTULO 5

Conclusiones y líneas futuras

5.1. Conclusiones del proyecto	99
5.2. Líneas futuras	100

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

Tras la realización de este trabajo se han sacado una serie de conclusiones sobre el mismo. Las primeras de ellas están directamente relacionadas con los objetivos marcados al inicio.

El primero de los objetivos propuestos fue que el sistema cumpla correctamente con su función de llevar a cabo el oscurecimiento de aula. Esto se ve cumplido mediante la incorporación de las lamas verticales orientables de un color gris. Este color permite oscurecer y la variación en la orientación de las lamas deja restringir el paso de la luz solar en función del usuario y de sus necesidades.

Como segundo objetivo se propuso que la energía solar incidente pueda ser almacenada y aprovechada. Esto se ha conseguido mediante la incorporación de las placas fotovoltaicas al sistema. De esta forma la energía queda almacenada para alimentar dispositivos eléctricos.

Los siguientes tres objetivos planteados fueron que el sistema tuviese características que favorezcan la obtención por parte del edificio de certificados energéticos LEED, WELL y VERDE. En el capítulo 2 (bases teóricas) se ha explicado en qué se basan y qué evalúa cada una de estas certificaciones. El sistema diseñado incorpora aspectos que contribuyen a la evaluación positiva como pueden ser:

→ Para el certificado LEED: Producción de energía renovable mediante placas fotovoltaicas, reducción del impacto del ciclo de vida del edificio mediante la incorporación de materiales reciclables y reciclados y accesibilidad a luz natural orientando las lamas para que la dejen pasar.

→ Para el certificado WELL: Control del resplandor por luz solar mediante el oscurecimiento con las lamas, calidad del color mediante el color gris, abertura para dejar entrar luz natural orientando las lamas y protección del usuario de la radiación solar mediante el uso de policarbonato de control solar.

→ Para el certificado VERDE: Uso de materiales reciclados (caucho SBR), acceso a iluminación natural orientando las lamas para que la dejen pasar.

El último de los objetivos planteados fue que el coste del sistema de oscurecimiento fuera asequible para ser instalado en las aulas del edificio. Este objetivo se ha alcanzado con mayor dificultad ya que tanto la incorporación de los materiales escogidos como la de placas fotovoltaicas aumentan el coste de forma notable. Para valorar si el coste está fuera de lo razonable se debe tener en cuenta que el sistema va a suponer un porcentaje de ahorro energético para el edificio, además de contribuir a que este obtenga los certificados

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

anteriormente expuestos. Este ahorro proviene de la generación de energía eléctrica obtenida de las placas fotovoltaicas, y también puede ayudar al ahorro el hecho de que las lamas estén colocadas por módulos. Esto permite que no sea necesario oscurecer la habitación en su totalidad y simplemente se pueda hacer en las zonas en las que la luz del sol está causando problemas. En vistas a esta posibilidad el sistema también puede suponer un ahorro en energía de calefacción durante el invierno, ya que ayuda a que entre mayor porcentaje de radiación solar en la habitación que en el caso de otro de los sistemas existentes en el mercado. Valorando estos aspectos se puede determinar que el sistema tiene un coste razonable.

A lo largo del capítulo 3 de este proyecto (desarrollo de la propuesta), se presentó un pliego de condiciones con una serie de requisitos que debe cumplir la propuesta de sistema de oscurecimiento. Estas condiciones se han tenido en cuenta durante todo el desarrollo del diseño, y en el resultado final se ven cumplidas.

A la hora de obtener una solución innovadora es muy importante la documentación y observación de las características de otros dispositivos existentes en el mercado. Previamente a una determinación concreta de un sistema de oscurecimiento se han realizado búsquedas sobre patentes relacionadas con el proyecto, sistemas de oscurecimiento existentes o mecanismos de abatimiento.

Por último, se puede sacar también como conclusión de este trabajo la importancia que tienen hoy en día los software informáticos para desarrollar nuevas propuestas, ya que se han utilizado a lo largo de todo este proceso programas BIM para el modelado del edificio (Autodesk Revit), para el diseño 3D de elementos (Catia V5) y para el análisis de tensiones del soporte (Autodesk Inventor).

5.2. LÍNEAS FUTURAS

Para este proyecto se propone como línea futura la continuación del proceso de diseño hasta la fabricación del sistema de oscurecimiento y su instalación en el aula. Para ello en primer lugar es necesario llevar a cabo una serie de pruebas mecánicas sobre los materiales reales, así como la puesta a prueba de las placas fotovoltaicas para comprobar su eficiencia. Posteriormente se debe realizar un prototipo de módulo para identificar fallos y proponer mejoras y finalmente llevar a cabo su fabricación.

La segunda línea futura propuesta es la extrapolación de este proyecto para que sea instalado en otro tipo de edificios con otros fines, como pueden ser viviendas particulares. Para ello es necesario el estudio de las posibilidades que ofrece el sistema de oscurecimiento desarrollado frente a situaciones distintas a las expuestas en este trabajo: otras orientaciones del edificio y por tanto recorridos del sol, otras épocas del año fuera del curso académico,

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

distintas alturas de techo, distintas medidas de hueco de ventana o diferentes necesidades del usuario.

CAPÍTULO 6

Bibliografía

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Fernández, “Número de estudiantes matriculados en universidades en España del curso 2008/2009 al 2018/2019,” 2019. <https://es.statista.com/estadisticas/479374/alumnos-matriculados-en-universidades-en-espana/>.
- [2] J. Pérez Porto and A. Gardey, “Definición de fotón,” 2018. <https://definicion.de/foton/> (accessed Jul. 15, 2020).
- [3] F. J. Rey Martínez, J. F. San José Alonso, E. Velasco Gómez, A. Tejero González, and M. Andrés Chicote, *Ingeniería Térmica*. 2018.
- [4] G. Pérez, “Espectro electromagnético,” 2017. https://www.espectrometria.com/espectro_electromagnitico (accessed Jul. 10, 2020).
- [5] Centro de Procesamiento y Análisis Infrarrojo (IPAC), “Espectroscopía infrarroja en astronomía,” 2001. http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/ir/spectra/spec_sp.html#:~:text=El espectro continuo%2C tambi%C3%A9n llamado,todas las longitudes de onda. (accessed Jul. 10, 2020).
- [6] Somfy España S.A., *La fachada dinámica 5.0. El primer control energético del edificio*. 2019.
- [7] R. Pons, “Entendiendo el azimut y la elevación,” 2020. <https://www.photopills.com/es/articulos/entendiendo-el-azimut-la-elevacion> (accessed Jul. 26, 2020).
- [8] R. Germán Cordero, “Tipos de placas solares según su aplicación,” 2017. https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/#Tipos_de_Paneles_Solares (accessed Sep. 02, 2020).
- [9] EcoInventos, “Qué es y cómo funciona la energía solar fotovoltaica,” 2020. <https://ecoinventos.com/que-es-y-como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica/> (accessed Jul. 19, 2020).
- [10] J. A. Alonso Lorenzo, “¿En qué consiste el efecto fotovoltaico?,” 2017. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-efecto-fotovoltaico/> (accessed Jul. 15, 2020).
- [11] J. A. Alonso Lorenzo, “Rendimiento de Placas Solares,” 2019. <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/rendimiento/> (accessed Sep. 02, 2020).
- [12] E. Imaz, “Paneles solares monocristalinos o policristalinos, ¿cuál elegir?,” 2018. <https://sotysolar.es/placas-solares/monocristalinas-policristalinas> (accessed Sep. 02, 2020).
- [13] Delta Volt SAC, “Paneles Solares, Tipos y Eficiencias,” 2020. <https://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares#:~:text=Paneles de celdas monocristalinas son,energía disponible de la luz.> (accessed Sep. 02, 2020).
- [14] C. Hurtado, “Diferencia entre panel monocristalino y policristalino,” 2019. <https://quelepasaamicasa.com/energias-renovables/panel-monocristalino-y-policristalino/> (accessed Sep. 02, 2020).

6. BIBLIOGRAFÍA

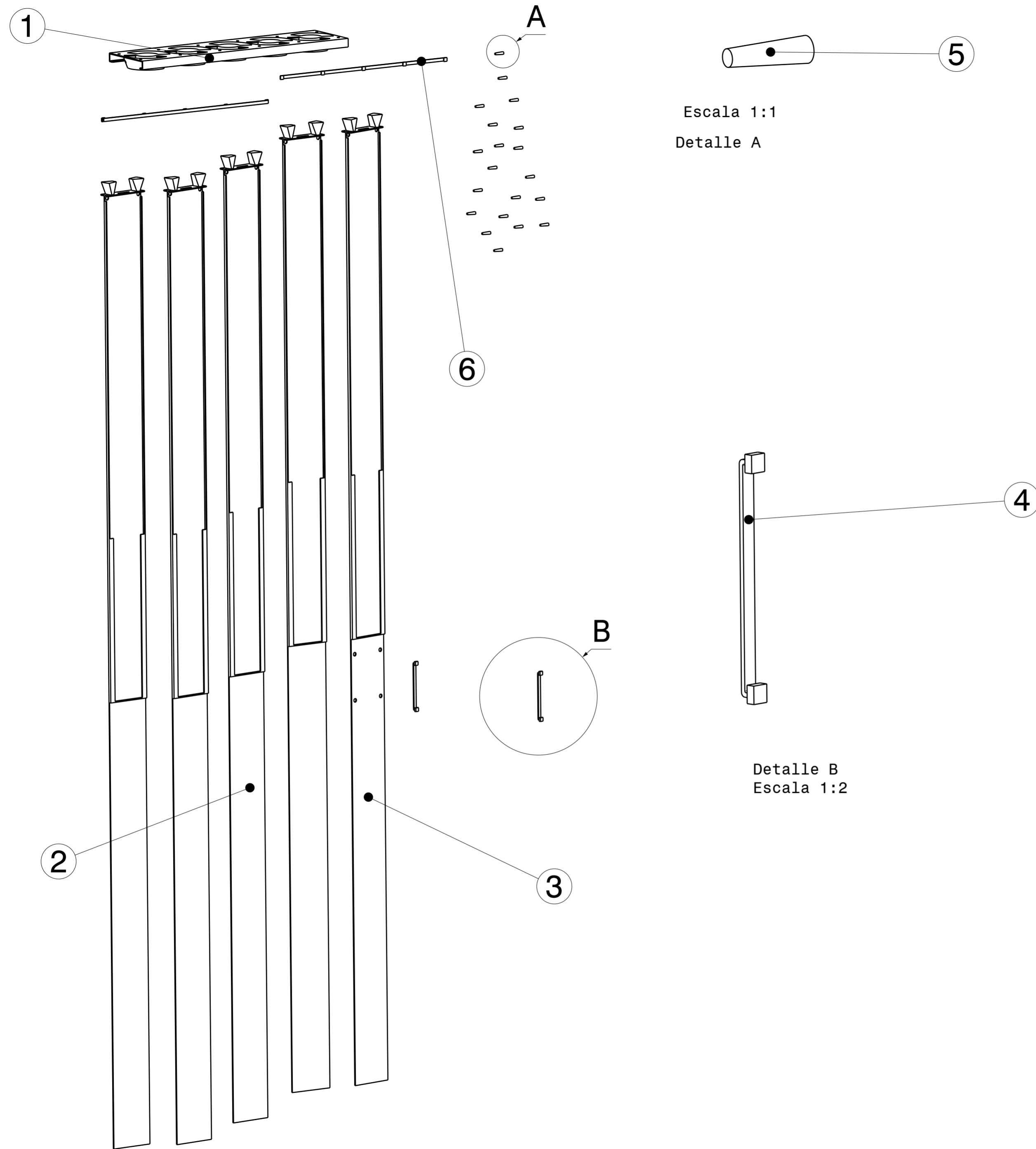
- [15] D Force Solar, “Celdas solares policristalinas.” <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/tipos-de-celdas-solares/celdas-solares-policristalinas/> (accessed Sep. 03, 2020).
- [16] O. Planas, “¿Cuáles son los tipos de células fotovoltaicas?” 2020. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/tipos> (accessed Sep. 03, 2020).
- [17] La energía solar, “Panel solar amorfo,” 2019. <https://www.laenergiasolar.org/placa-solar/panel-solar-amorfo/> (accessed Sep. 03, 2020).
- [18] P. Industry, “Amorton - Células solares de silicio amorfo.” <https://industry.panasonic.eu/energy-building/amorphous-solar-cells> (accessed Sep. 03, 2020).
- [19] I. Domínguez, “Tipos De Paneles Solares fotovoltaicos,” 2018. <https://www.implica-t.com/tipos-de-paneles-solares/> (accessed Sep. 03, 2020).
- [20] WSL Solar, “Paneles solares OEM.” <https://www.wsl-solar.com/indoor-solar-cell-4.5V.html> (accessed Sep. 03, 2020).
- [21] O. Planas, “Colector solar térmico,” 2019. <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/componentes/colector-solar-termico> (accessed Sep. 03, 2020).
- [22] US Green Building Council, “Why LEED.” <https://www.usgbc.org/leed/why-leed> (accessed Sep. 19, 2020).
- [23] ISOVER, “Certificaciones Ambientales: LEED, BREEAM, VERDE y WELL,” p. 124, 2019.
- [24] Somfy España S.A., *La fachada dinámica 5.0. El primer control energético del edificio*. 2019.
- [25] S. G. Escuela de Ingenierías Industriales, “Calendario Académico 2018/2019,” 2019.
- [26] J. R. Tinoco Cavalheiro and M. A. Sousa Tavares da Fonseca, “Dispositivo inteligente para absorber energía solar y controlar admisión de luz solar,” ES2564783 (T3) – 2016-03-29.
- [27] P. Mas Abellán and A. Fimia Gil, “Elemento óptico holográfico híbrido de control espectral de iluminación,” ES2706397 (A1) – 2019-03-28.
- [28] M. Melcher, J. Hagen, and J. Vincent, “Luna con recubrimiento reflectante de radiación térmica,” ES2626911 (T3) – 2017-07-26.
- [29] D. M. K. Le, R. Bourdais, H. Guenguen, and J. Plevin, “Procedimiento y dispositivo de accionamiento de al menos un dispositivo de oscurecimiento de al menos una abertura de una habitación de un edificio,” ES2616127 (T3) – 2017-06-09.
- [30] J. R. Álvarez Segura and F. J. Poblete Martín, “Combinación de líquidos utilizable en pantallas de oscurecimiento,” ES2235635 (A1) – 2005-07-01.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [31] Leroy Merlin, “Ventana aluminio corredera persiana ARTENS 120x115cm,” 2020. <https://www.leroymerlin.es/fp/82456498/ventana-aluminio-corredera-persiana-artens-120x115cm> (accessed Sep. 12, 2020).
- [32] IKEA, “KADRILJ. Estor, inalambrico/a pilas gris, 100x195 cm,” 2020. <https://www.ikea.com/es/es/p/kadrilj-estor-inalambrico-pilas-gris-20408116/> (accessed Sep. 12, 2020).
- [33] Amazon, “Victoria M - Persiana de aluminio, 90 x 130 cm, Plata,” 2020. https://www.amazon.es/Victoria-Persiana-aluminio-130-Plata/dp/B00AQXE1IS/ref=asc_df_B00AQXE1IS/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=76133165955&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=16643652581117908789&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=90492 (accessed Sep. 12, 2020).
- [34] Sistemas 24h, “¿Cómo instalar persianas verticales?” 2020. https://sistemas24h.com/blog/mundo-persianas/instalar-persianas-verticales/%0Ahttps://www.amazon.es/Victoria-Persiana-aluminio-130-Plata/dp/B00AQXE1IS/ref=asc_df_B00AQXE1IS/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=76133165955&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=16643652 (accessed Sep. 12, 2020).
- [35] Elaplas (Elastómeros y plásticos), “Propiedades físicas policarbonato (PC).” 2019.
- [36] Sabic, “Lexan Solar Control IR Sheet.” 2020.
- [37] Arcoplus, “Ficha técnica policarbonato.” 2020.
- [38] CTE, “DB-SE-A Seguridad Estructural - Acero,” *Boletín Of. del Estado*, vol. 19, pp. 1–166, 2008, [Online]. Available: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-A.pdf>.
- [39] Leroy Merlin, “2 taco de vuelco de balancín de acero galvanizado para pared hueca de 10x95 mm,” 2020. <https://www.leroymerlin.es/fp/71771/2-taco-de-vuelco-de-balancin-de-acero-galvanizado-para-pared-hueca-de-10x95-mm> (accessed Sep. 13, 2020).
- [40] Wcc Solar, “Juego Conector Flexible Doble MC4 Multicontact 2 a 1 (Macho-Hembra).” https://www.wccsolar.net/product-page/conector-doble-mc4-multicontact-2-a-1-1?gclid=Cj0KCQjwqfz6BRD8ARIsAIXQcf3KQ4-hPDWVluk6RyhbJuPnu7rNLskJtt4nJbM0BSfRCzE8_w3a9s4aApR3EALw_wcB (accessed Sep. 14, 2020).

ANEXOS

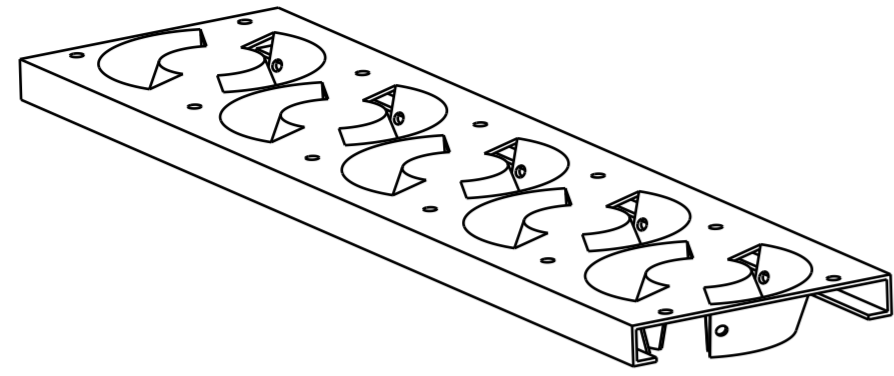
PLANOS



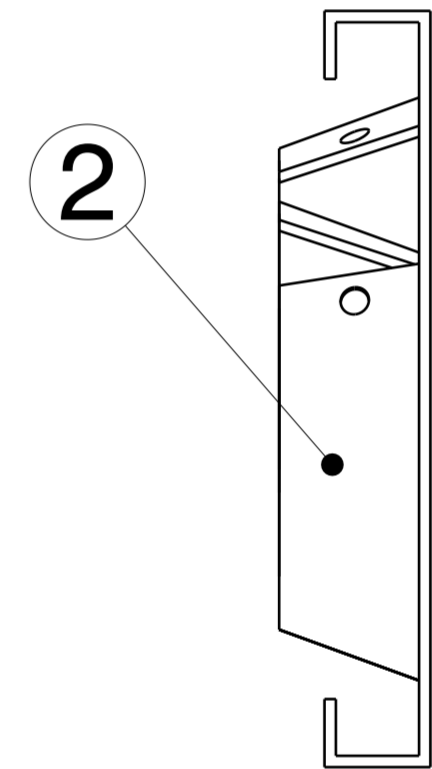
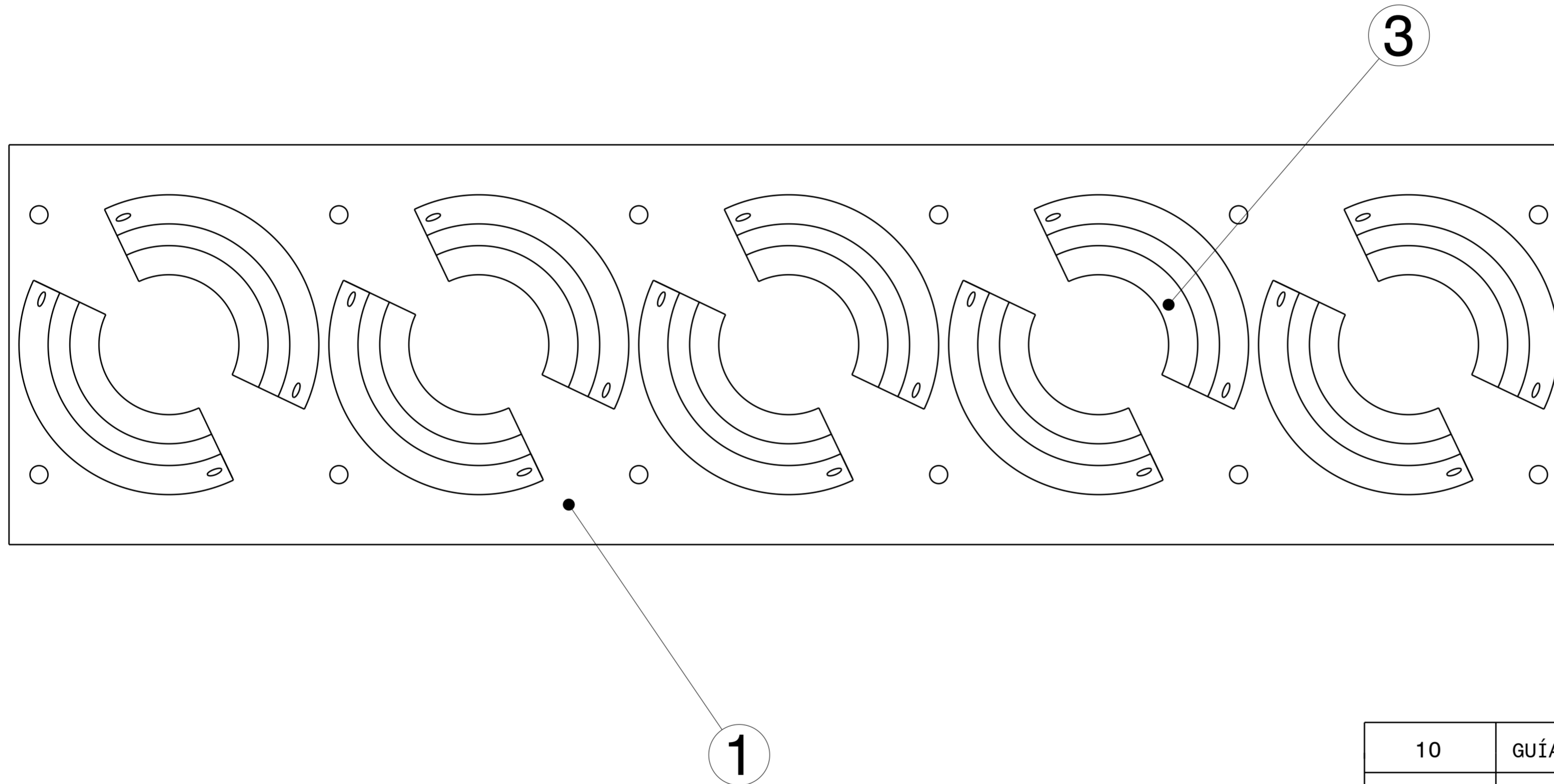
Escala 1:1
Detalle A

Detalle B
Escala 1:2

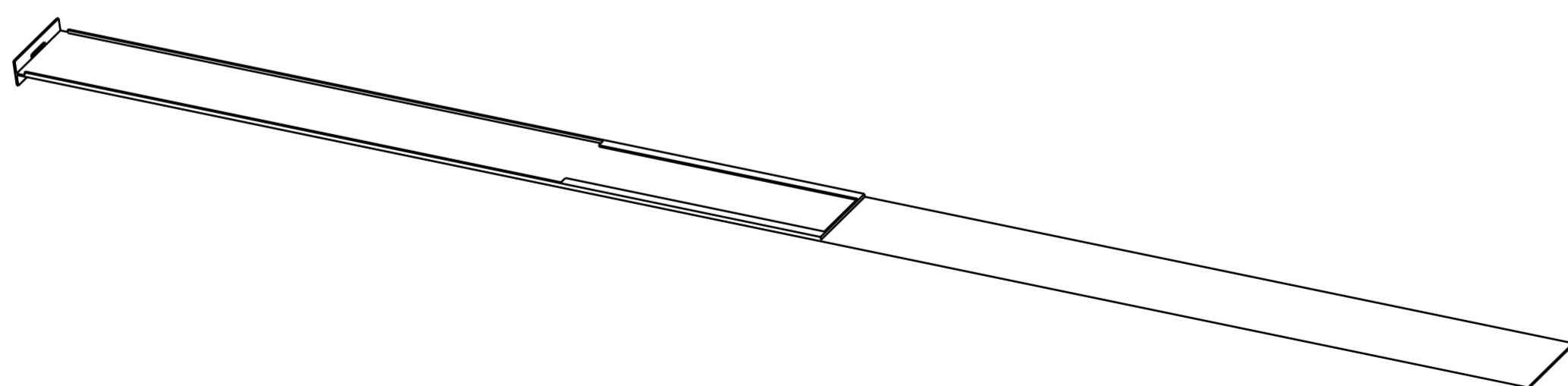
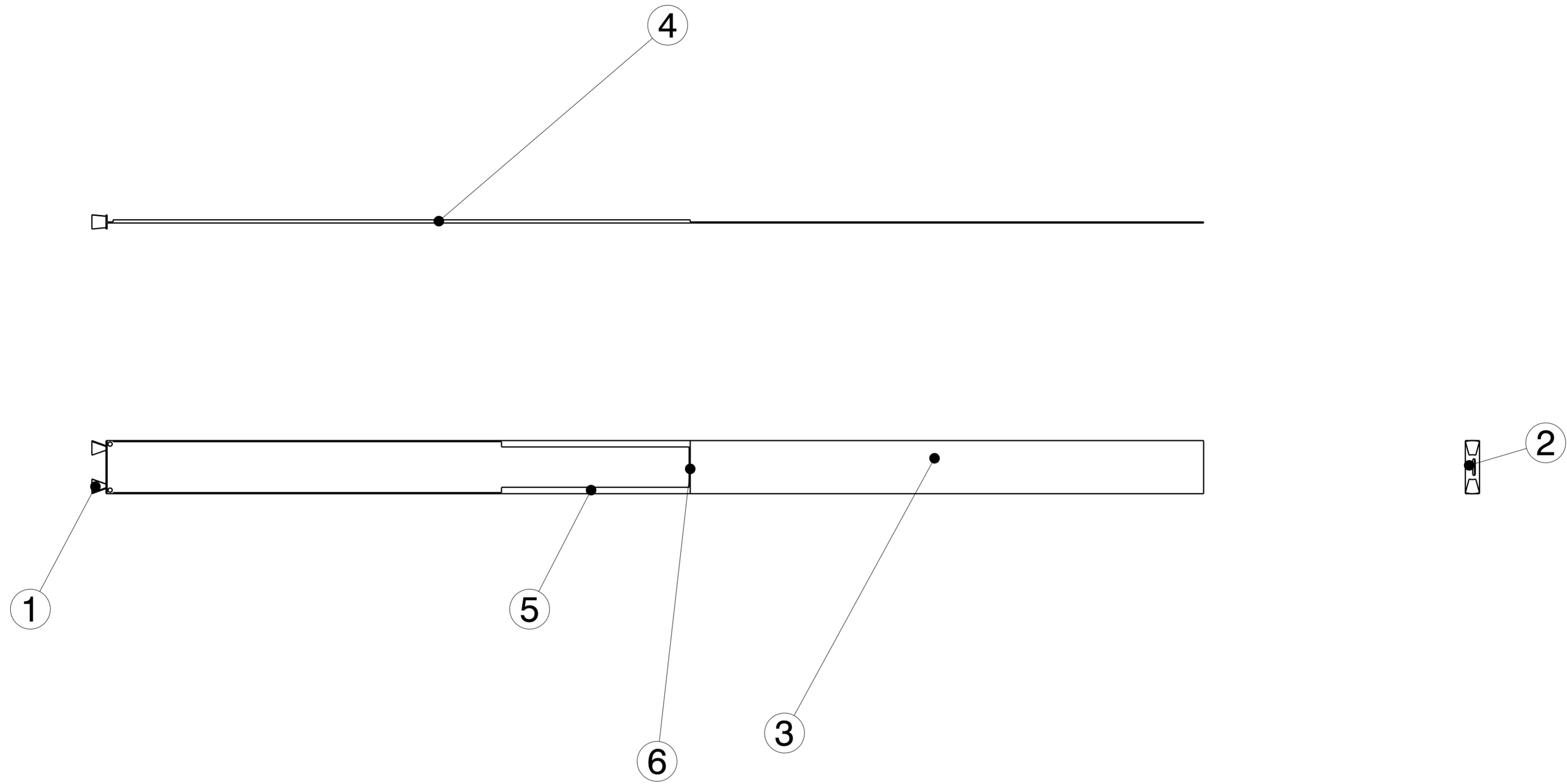
1	CORREA DE UNIÓN	16	6
20	TACO CÓNICO	17	5
2	TIRADOR	15	4
1	CONJUNTO LAMA CON TIRADOR	4	3
4	CONJUNTO LAMA SIN TIRADOR	3	2
1	CONJUNTO SOPORTE	2	1
CANTIDAD	DENOMINACIÓN	Nº PLANO	MARCA
Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Nombre pieza: CONJUNTO MÓDULO	
Fecha: 09/2020			
Escala: 1:10	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 1



Escala 1:5

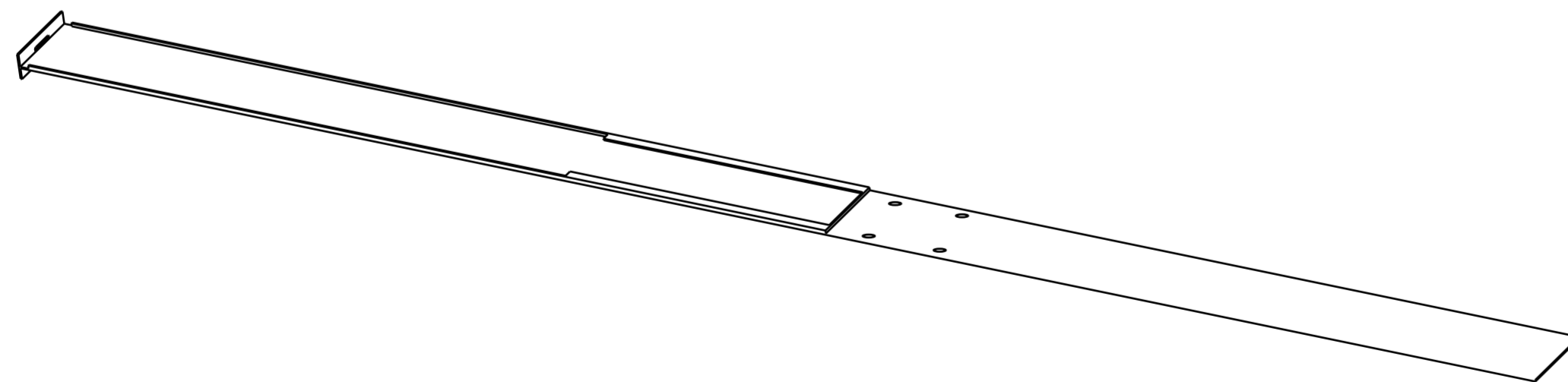
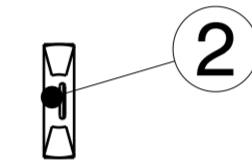
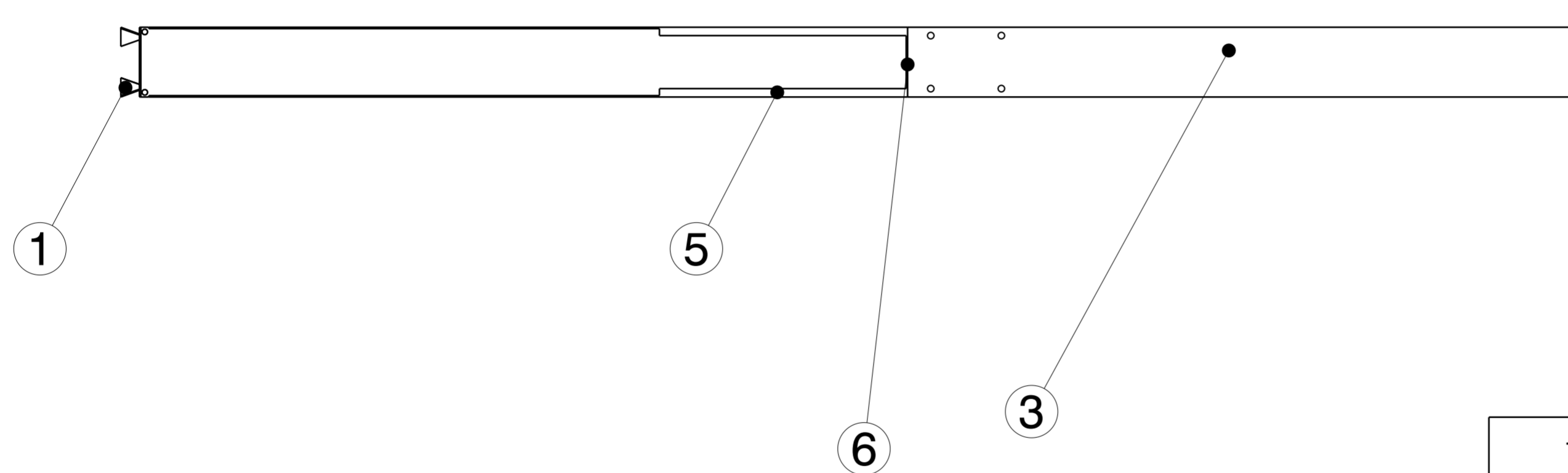
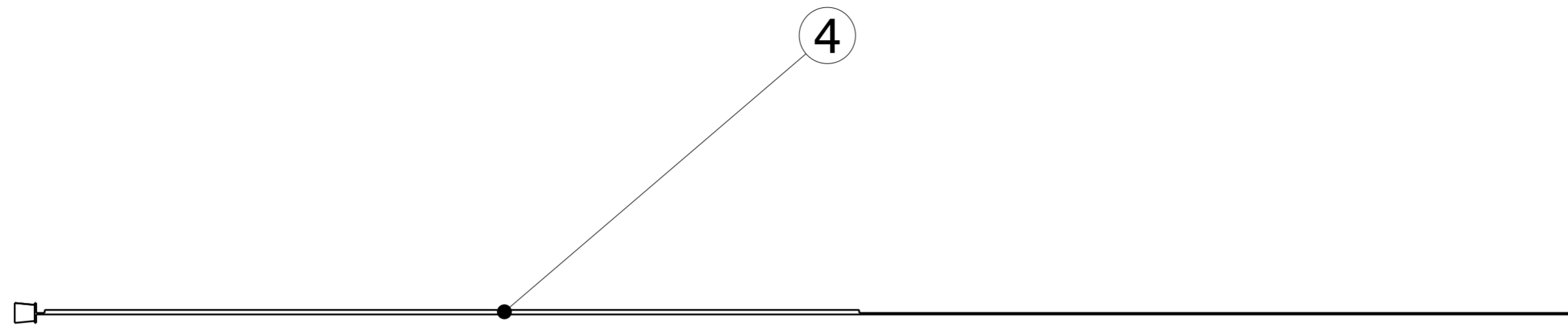


10	GUÍA INTERIOR	7	3
10	GUÍA EXTERIOR	6	2
1	BASE SOPORTE	5	1
CANTIDAD	DENOMINACIÓN	Nº PLANO	MARCA
Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Acero S235JR	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: CONJUNTO SOPORTE	
Escala: 1:2	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 2



Escala 1:10

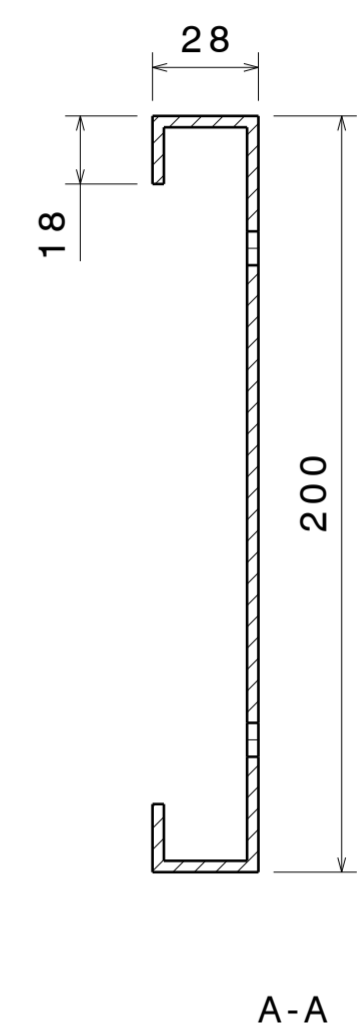
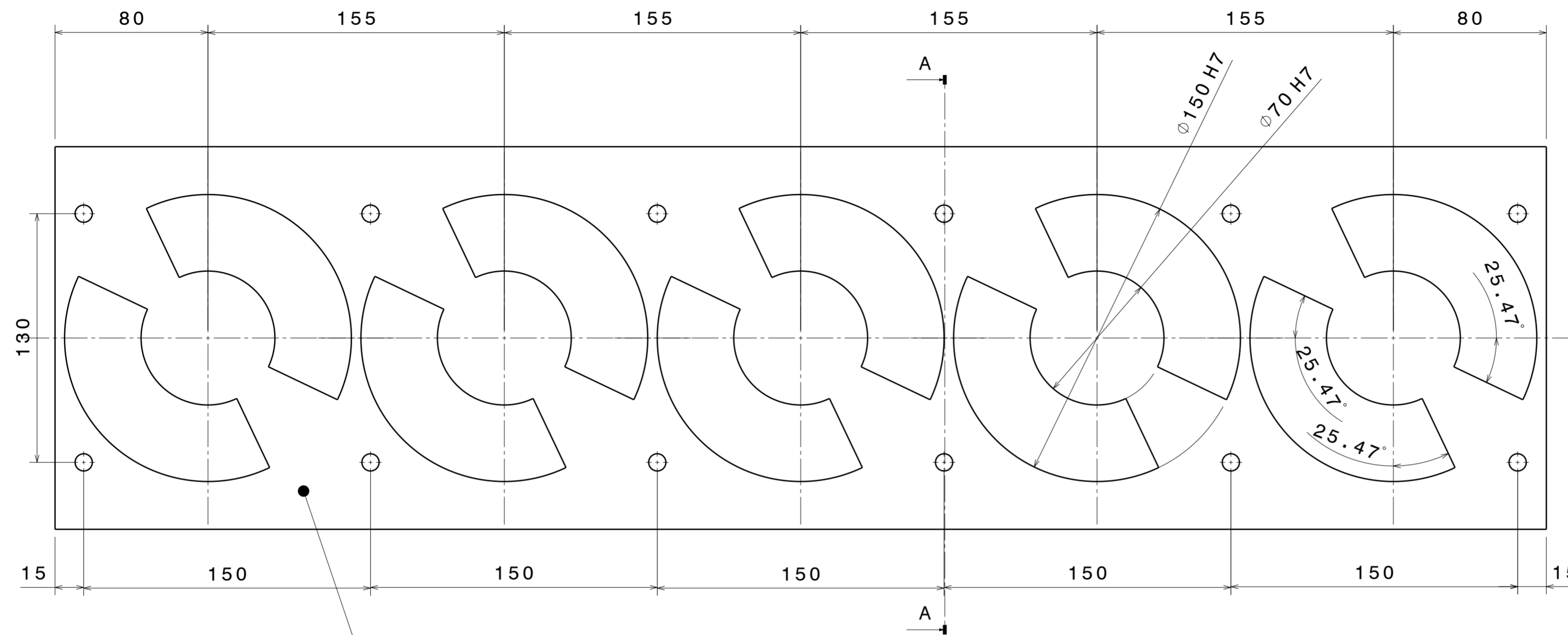
1	CERRAMIENTO PLACA INFERIOR	13	6
2	CERRAMIENTO PLACA LATERAL	12	5
2	LATERAL LAMA	11	4
1	LAMA	10	3
1	APOYO CORREDERAS	9	2
2	CORREDERA	8	1
CANTIDAD	DENOMINACIÓN	Nº PLANO	MARCA
Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Policarbonato compacto	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: CONJUNTO LAMA SIN TIRADOR	
Escala: 1:10	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 3



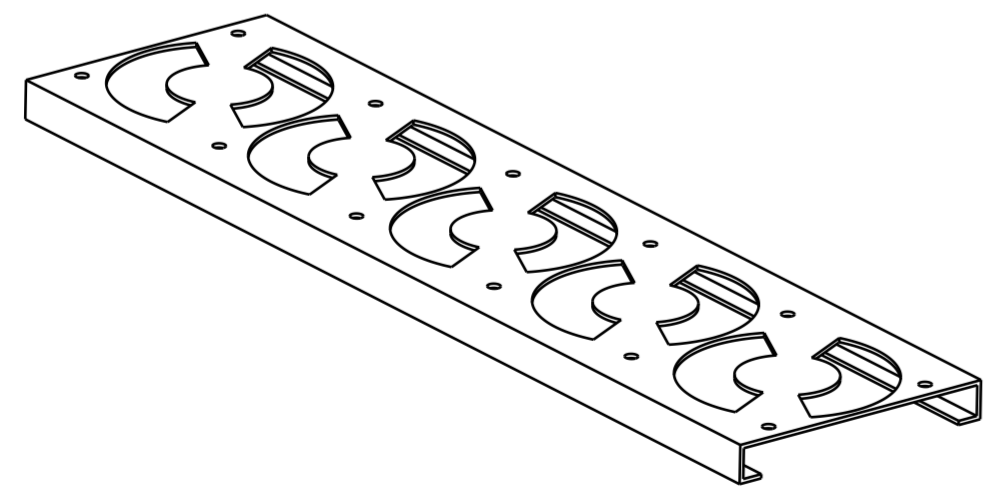
Escala 1:10

1	CERRAMIENTO PLACA INFERIOR	13	6
2	CERRAMIENTO PLACA LATERAL	12	5
2	LATERAL LAMA	11	4
1	LAMA CON TIRADOR	14	3
1	APOYO CORREDERAS	9	2
2	CORREDERA	8	1
CANTIDAD	DENOMINACIÓN	Nº PLANO	MARCA

Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Policarbonato compacto	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: CONJUNTO LAMA CON TIRADOR	
Escala: 1:10	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	Trabajo fin de Grado
			Plano: 4

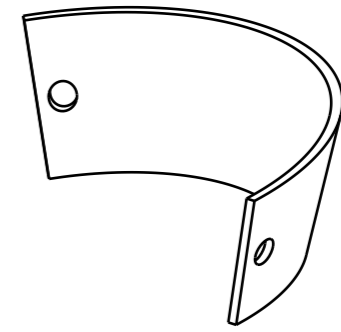
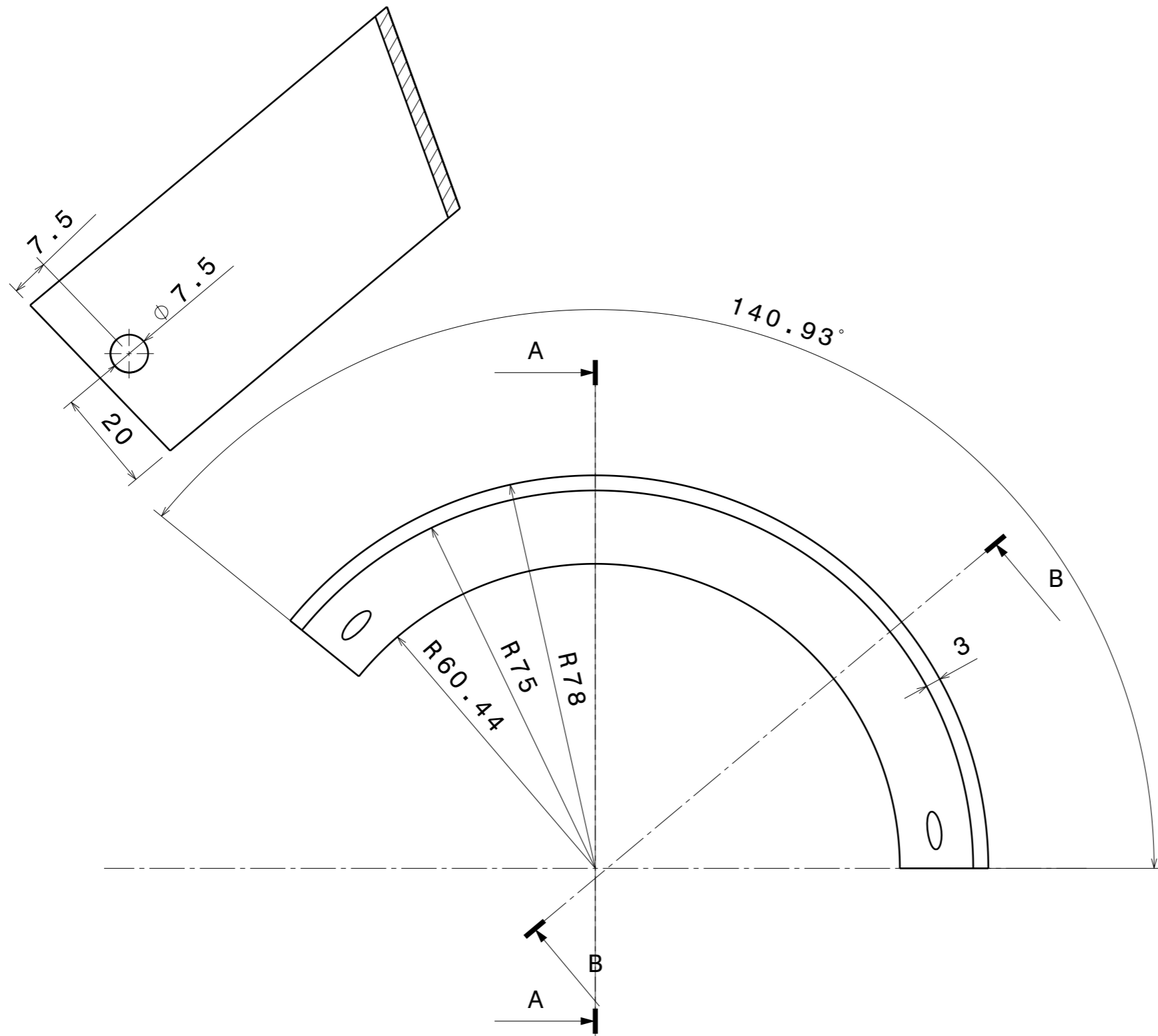


Taladros: D = 9 mm
 Espesor de la plancha = 3 mm



Escala: 1:5

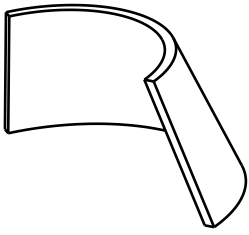
Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Acero S235JR	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: BASE SOPORTE	
Escala: 1:2	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 5



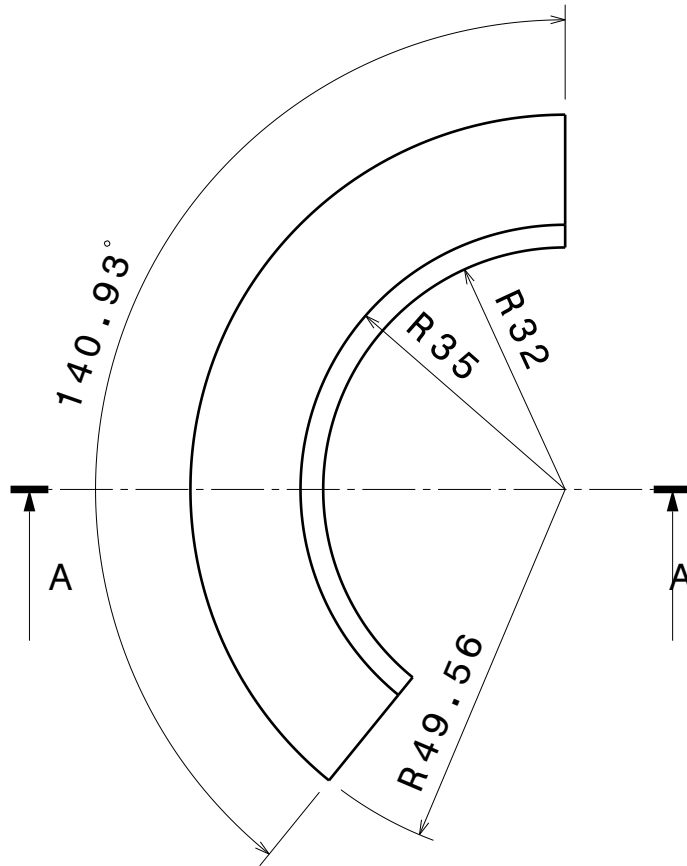
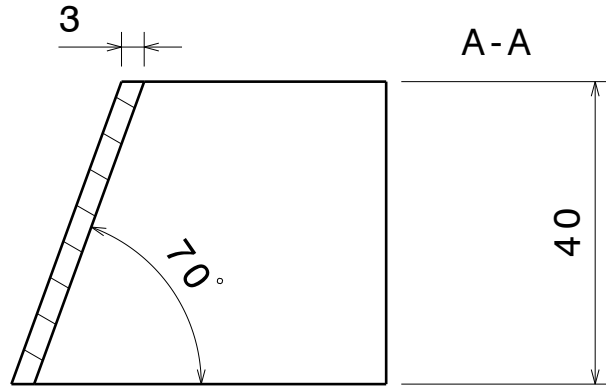
Escala: 1:2

Espesor constante = 3 mm

Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Acero S235JR	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: GUÍA EXTERIOR	
Escala: 1:1	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 6



Escala: 1:2



Espesor constante = 3 mm

Autor/a:
**Isabel
 Megido Domínguez**

Material: **Acero S235JR**

Nombre pieza:

GUÍA INTERIOR

Fecha **09/2020**

Escala:

1:1

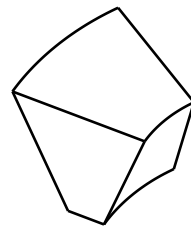
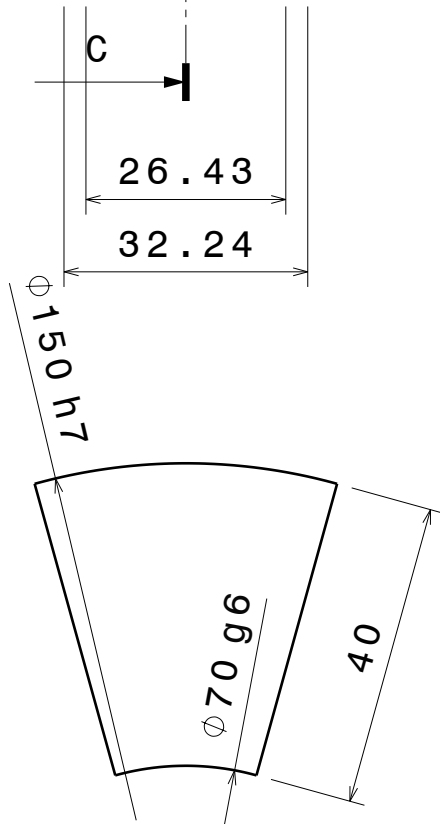
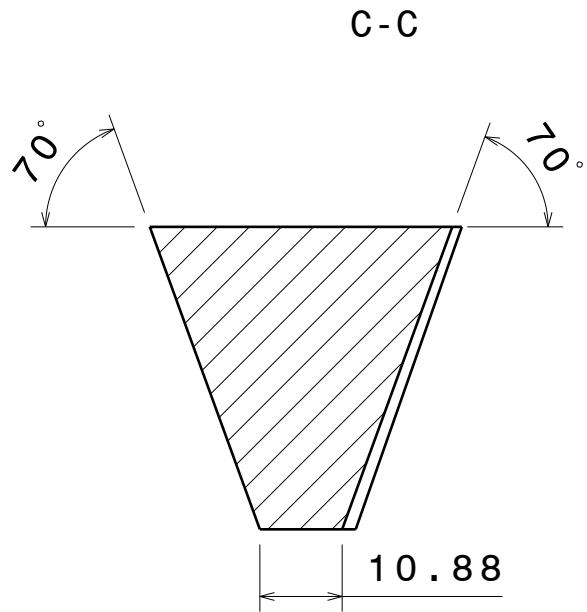
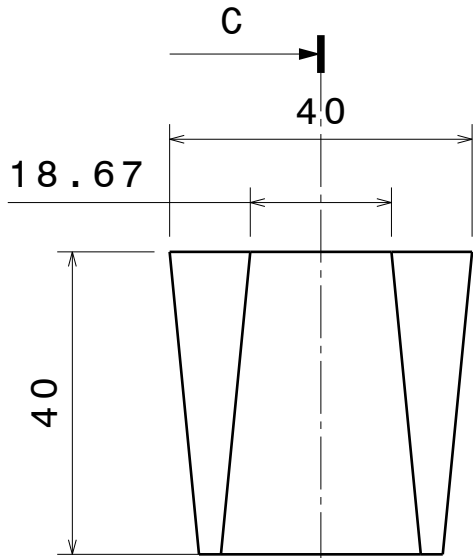
Proyecto:

Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas

EII. Universidad de Valladolid

Trabajo fin
de Grado

Plano: **7**



Escala: 1:2

Autor/a:
Isabel
Megido Dominguez

Material: Polycarbonato compacto

Nombre pieza:

CORREDERA

Fecha 09/2020

Escala:

1:1

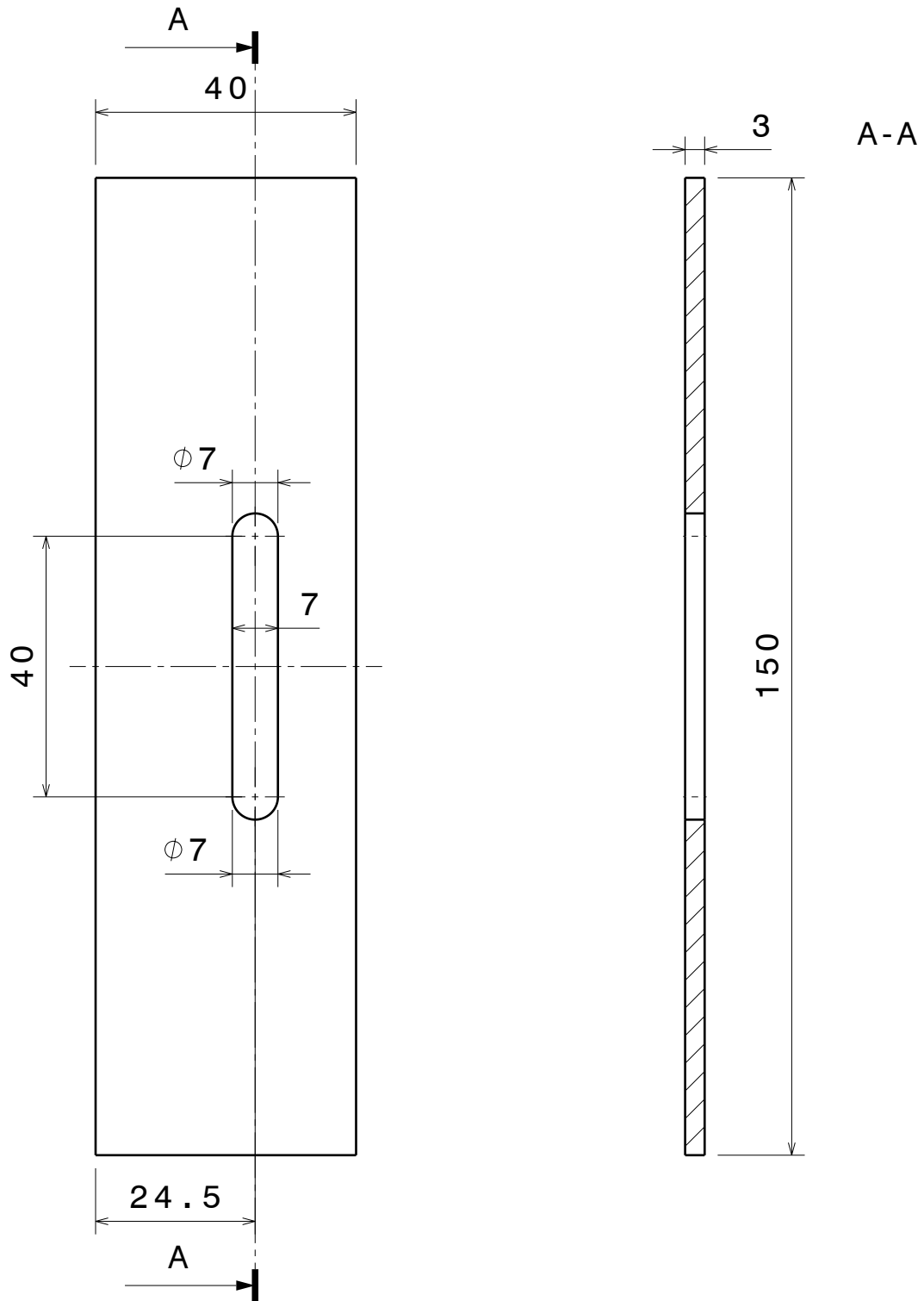
Proyecto:

Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas

EII. Universidad de Valladolid

Trabajo fin
de Grado

Plano: **8**



Autor/a:
**Isabel
 Megido Domínguez**

Material: **Policarbonato compacto**

Nombre pieza:

APOYO CORREDERAS

Fecha **09/2020**

Escala:

1:1

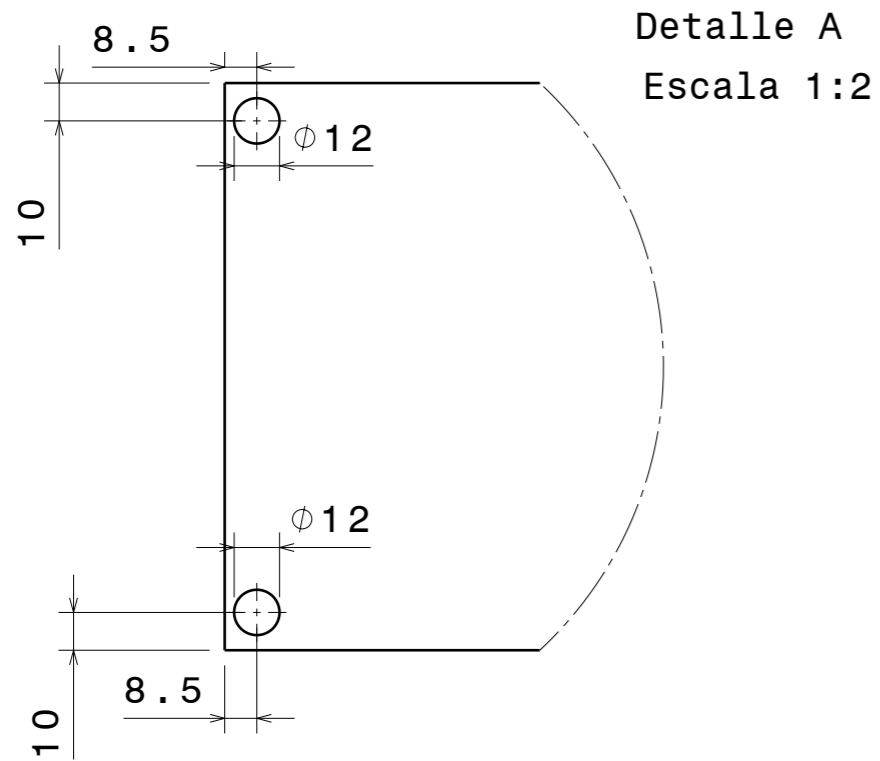
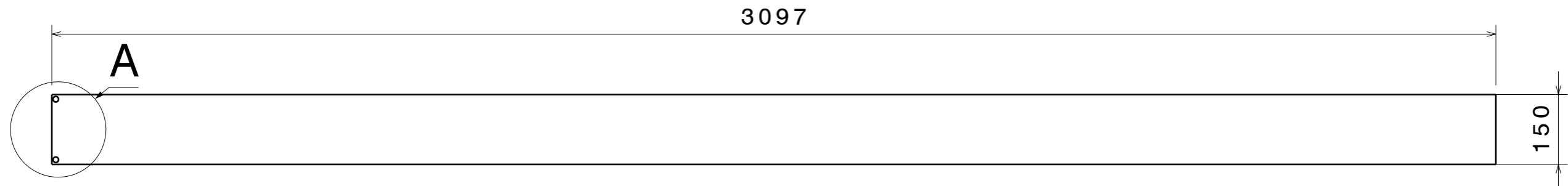
Proyecto:

Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas

EII. Universidad de Valladolid

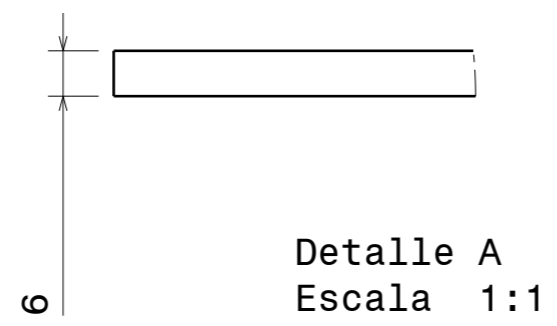
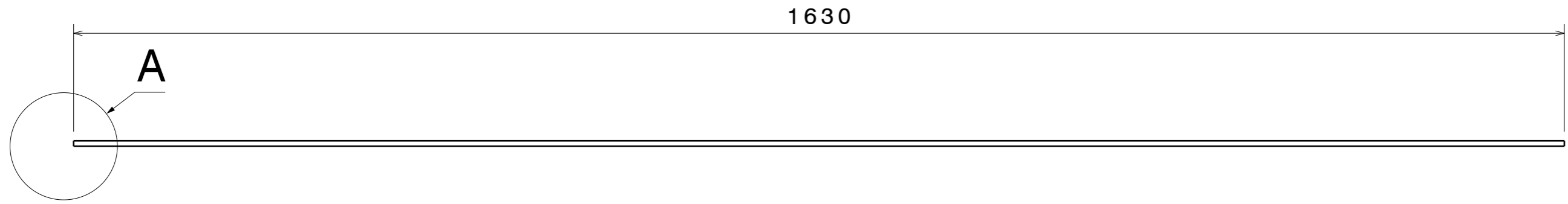
**Trabajo fin
 de Grado**

Plano: **9**



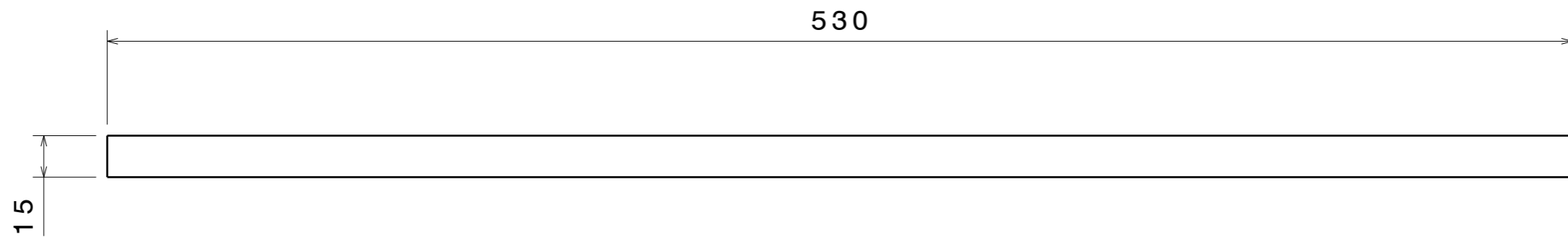
Espesor = 3 mm

Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Policarbonato compacto	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: LAMA SIN TIRADOR	
Escala: 1:10	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 10



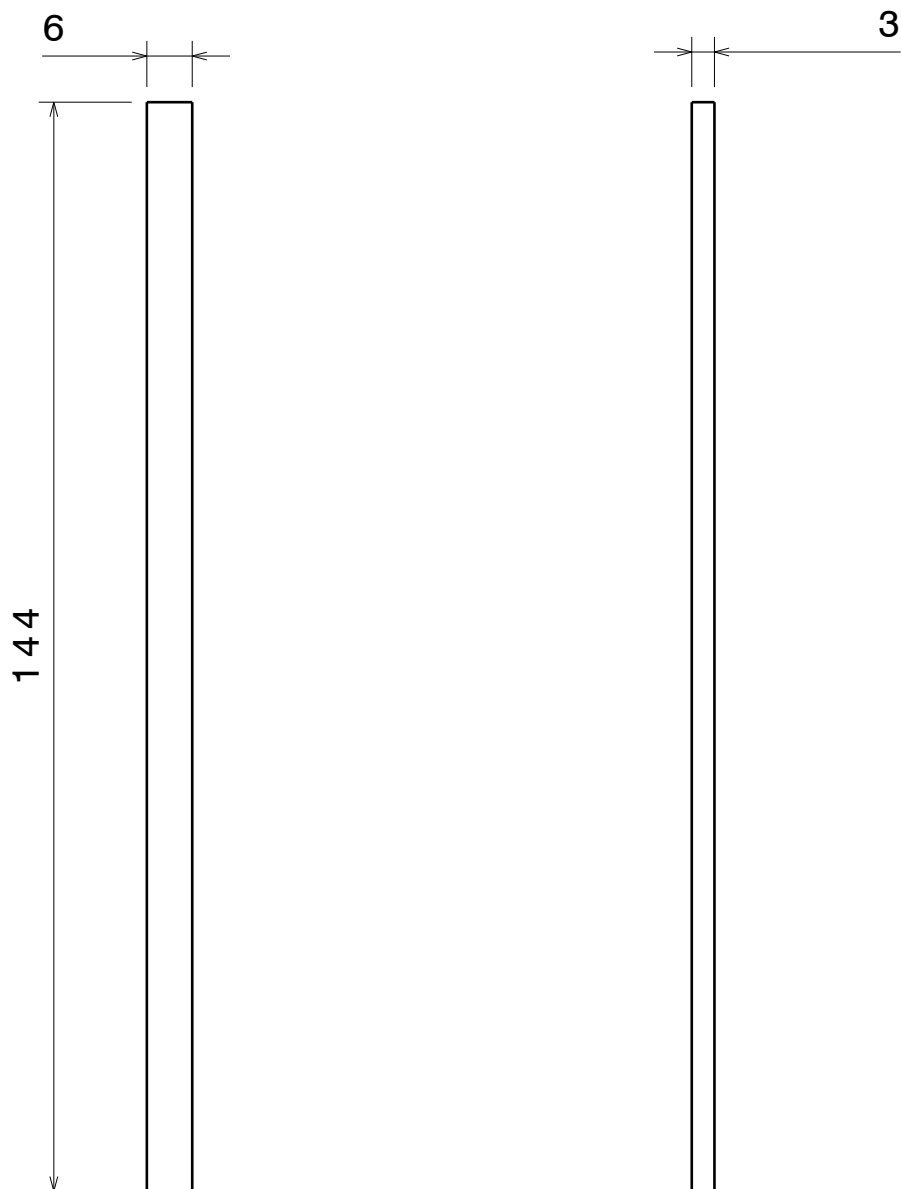
Espeor = 3 mm

Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Policarbonato compacto	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: LATERAL LAMA	
Escala: 1:5	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 11



Espeor = 3 mm

Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Policarbonato compacto	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: CERRAMIENTO PLACA LATERAL	
Escala: 1:2	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas		EII. Universidad de Valladolid
		Trabajo fin de Grado	Plano: 12



Autor/a:
**Isabel
 Megido Dguez**

Material: **Policarbonato compacto**

Nombre pieza:
CERRAMIENTO PLACA INFERIOR

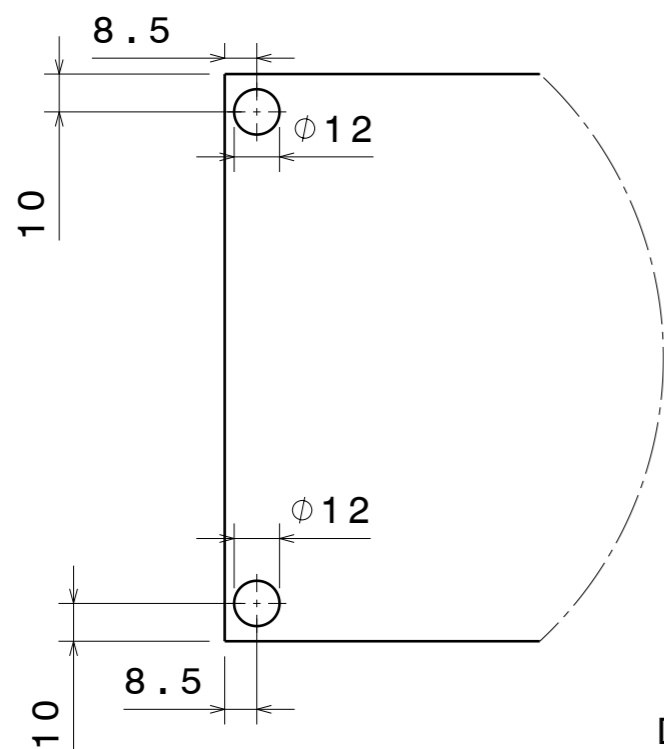
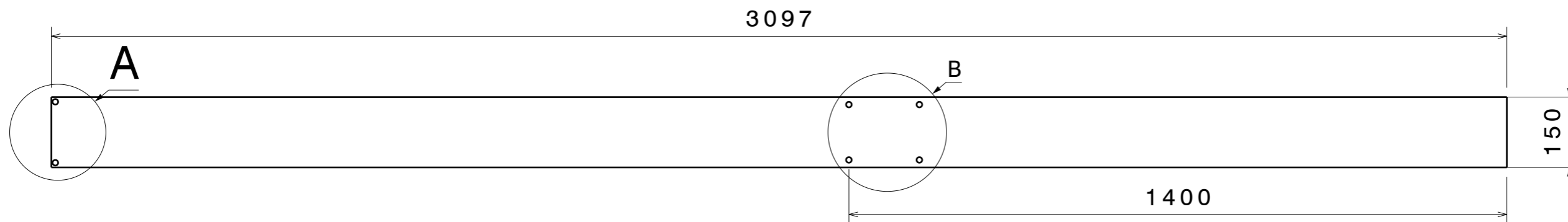
Fecha **09/2020**

Escala:
1 : 1

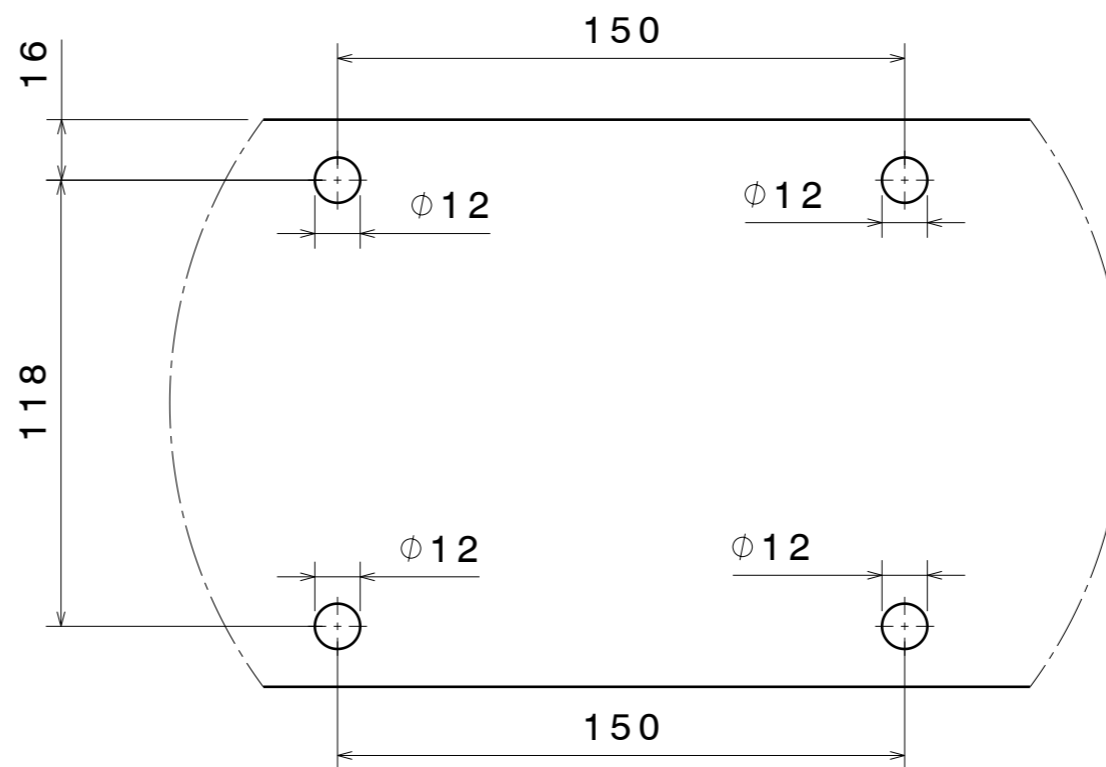
Proyecto:
 Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas

EII. Universidad de Valladolid
**Trabajo fin
 de Grado**

Plano: 13



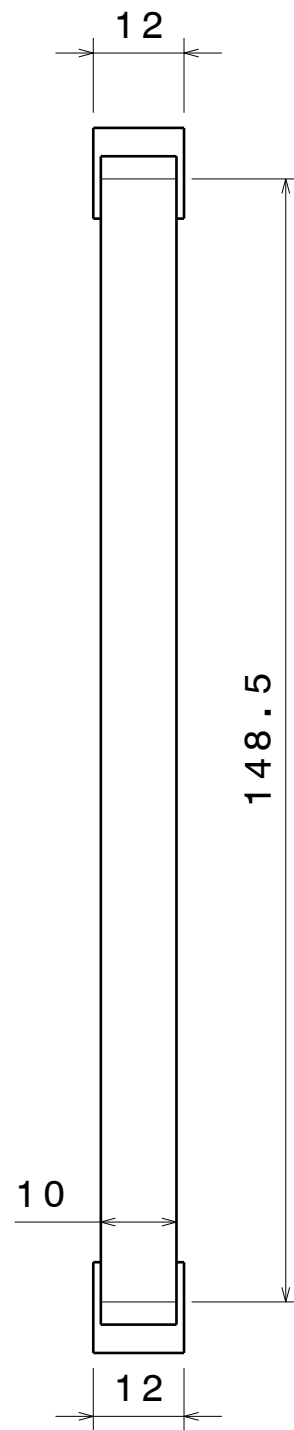
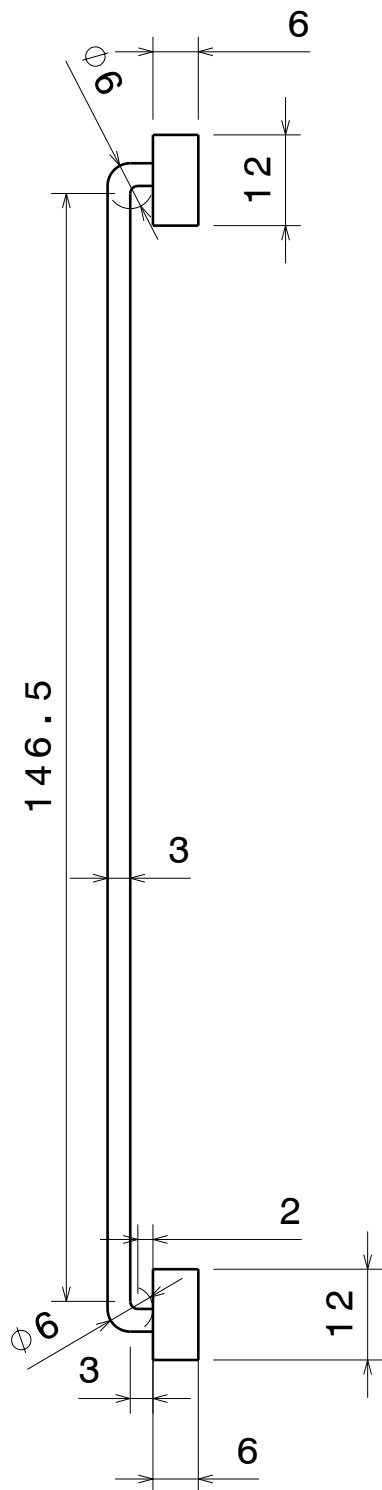
Detalle A
Escala 1:2



Detalle B
Escala 1:2

Espesor = 3 mm

Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Policarbonato compacto	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: LAMA CON TIRADOR	
Escala: 1:10	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 14



Radios no acotados $D = 2 \text{ mm}$
 Espesor de la correa constante = 3 mm

Autor/a:
**Isabel
 Megido Domínguez**

Material: **Caucho SBR**

Nombre pieza:

TIRADOR

Fecha: **09/2020**

Escala:

1 : 1

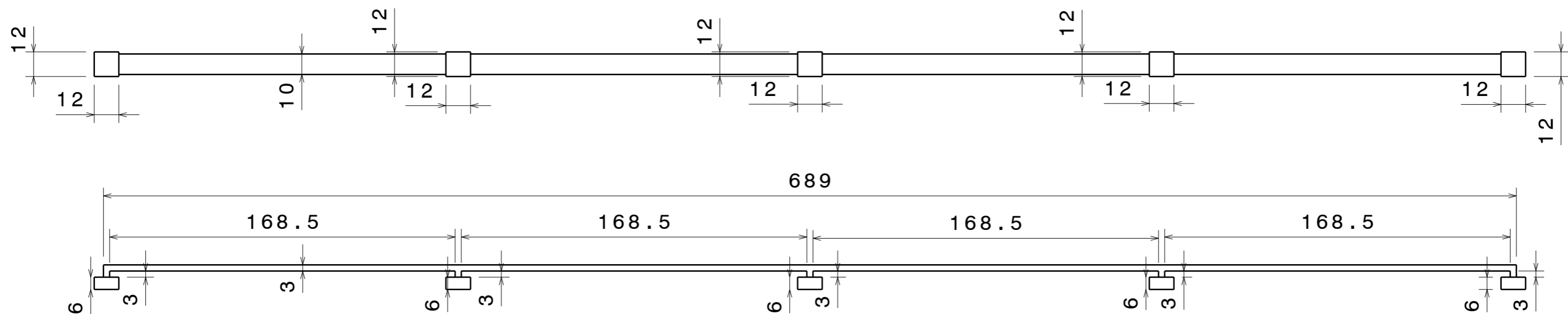
Proyecto:

Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas

EII. Universidad de Valladolid

**Trabajo fin
 de Grado**

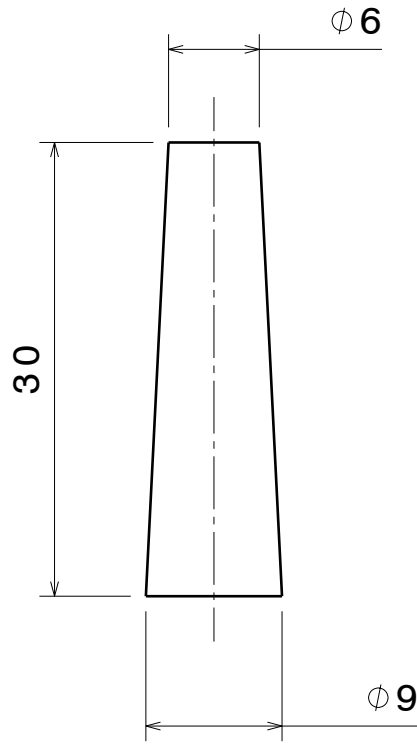
Plano: **15**



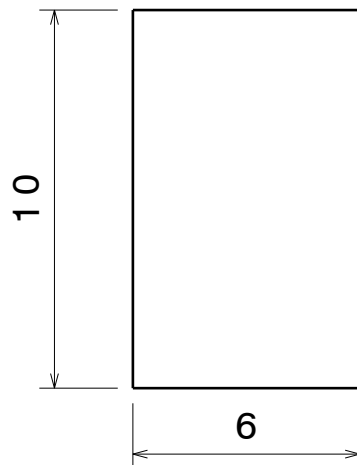
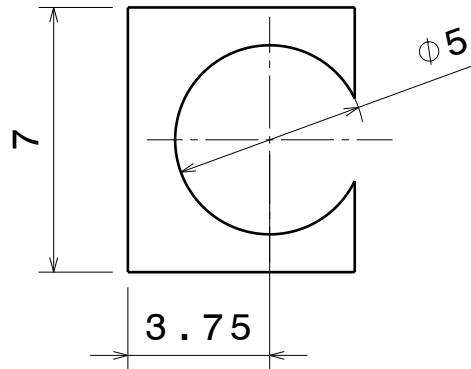
Ancho de correa constante = 10 mm

Espesor de correa constante = 3 mm

Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Caucho SBR	
Fecha: 09/2020		Nombre pieza: CORREA DE UNIÓN	
Escala: 1:2	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 16



Autor/a: Isabel Megido Dguez		Material: Caucho SBR	
Fecha 09/2020		TACO CÓNICO	
Escala: 2:1	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas		
		Plano: 17	



Autor/a: Isabel Megido Domínguez		Material: Caucho SBR	
Fecha 09/2020		Nombre pieza: ANCLAJE DE CABLES	
Escala: 5:1	Proyecto: Análisis y propuesta de un sistema de control del oscurecimiento de un edificio de aulas	EII. Universidad de Valladolid	
		Trabajo fin de Grado	Plano: 18

VALLADOLID, SEPTIEMBRE DE 2020

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado



Fdo. Isabel Megido Domínguez



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**