

# Iluminación Natural

Sistema de Iluminación Natural para Interiores

Instituto Tecnológico de Costa Rica | Escuela de Ingeniería en Diseño industrial  
Optando por el título de Ingeniero en Diseño Industrial con grado académico de bachiller

Andrés Montero Vega | Melvin Camacho Leitón  
Cartago Costa Rica, noviembre 2013

# Índice

1. Introducción.....	3
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Marco Teórico.....	7
1.3 Marco Metodológico.....	28
1.4 Marco Lógico.....	29
1.5 Definición del problema.....	33
2. Desarrollo de la investigación.....	35
2.1 Desarrollo y selección de concepto de diseño.....	35
2.2 Fundamentos utilizados para el diseño.....	47
2.3 Definición del concepto.....	48
2.4 Desarrollo de alternativas.....	49
3. Propuesta final.....	67
3.1 Colector de luz solar.....	68
3.2 Transporte de luz solar.....	74
3.3 Distribuidor de luz solar.....	76
3.4 Interacción con el sistema.....	80
3.5 Contribuciones con el desarrollo del proyecto.....	86
3.6 Gradientes de mejora.....	87
3.8 Conclusiones y recomendaciones.....	89
4. Bibliografía.....	90
5. Anexos.....	91

# 1. Introducción

En este documento se expone el proceso de investigación y diseño de un sistema de iluminación para interiores de edificios a partir de luz solar.

El principal objetivo fue diseñar un sistema adaptado a las condiciones climáticas de Costa Rica, pues los sistemas existentes están diseñados para países del hemisferio norte y no funcionan si se utilizan en regiones tropicales. El otro objetivo fue lograr reducir el costo, a fin de producir un prototipo en el país.

La primera parte de este informe abarca los aspectos relacionados con la investigación como la base teórica necesaria para brindar una solución, el planteamiento del problema y los objetivos referentes al proyecto.

En la segunda parte se hace una conceptualización del producto que se requiere diseñar y en la tercera parte se exponen las diferentes soluciones generadas para el problema planteado y se presenta la propuesta final. Dicha solución presenta el alcance logrado con el desarrollo del proyecto así como los beneficios que el ser humano adquiere al implementar un sistema de iluminación natural en los edificios.

## 1.1 Antecedentes

La sostenibilidad ambiental dentro de la industria de la construcción, se ha convertido en un amplio campo determinado por múltiples organizaciones y gobiernos, como un área clave en aras de la necesaria reconversión ecológica de las actuales ciudades y la minimización del impacto ambiental producido por los asentamientos humanos.

En el contexto latitudinal de los trópicos, donde se encuentra Costa Rica, el consumo energético de los edificios atiende en gran medida a la necesidad de iluminar artificialmente un alto porcentaje de espacios internos en periodos de horas diurnas, durante las cuales se desaprovecha el enorme potencial energético de la iluminación natural.

El problema del desaprovechamiento de la luz natural, se combina con la actual tendencia nacional de verticalización de las tipologías constructivas tanto comerciales como residenciales. Si bien, esta es una tendencia acertada, y necesaria para aumentar la compacidad de los asentamientos urbanos, el mal manejo y el pobre planteamiento de la iluminación natural dentro de una estratificación vertical de múltiples niveles, trae como resultado un consumo energético, innecesariamente exacerbado. Este suele ser el resultado de una formación profesional en las áreas de la Arquitectura y la Ingeniería, relativamente carentes de conceptos bioclimáticos claros así como de las herramientas necesarias para desarrollarlos.

Otro de los aspectos importantes, es que la luz solar además genera diferentes beneficios para el ser humano. Tras investigaciones en fotobiología realizadas por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de Madrid, se evidencia como la luz natural producida por el sol actúa como mediadora y controla diferentes procesos fisiológicos y psicológicos del ser humano, entre ellos:

- Control del reloj biológico
- Efectos de la luz sobre el sueño, cura de enfermedades y el estado de ánimo
- Influencia sobre la actividad de las personas

A nivel psicológico, el estado de ánimo es un reflejo de las sensaciones de las personas. Es ahí donde las condiciones visuales llegan a ser un factor emocional muy importante. Desarrollarse en un entorno que refleje las condiciones del exterior ayuda a tratamientos tanto curativos como preventivos de problemas como el sueño, la fatiga, motivación reducida, etc..

En las siguientes figuras se muestra como puede variar el desarrollo de las actividades cotidianas de las personas, dependiendo del nivel de la luz natural con el que se disponga en ciertas horas del día.

Fig 1. Estado de ánimo expresado como nivel de "activación" con iluminación uniforme de 250 lux y 2800 lux en función del número de trabajo después del medio día

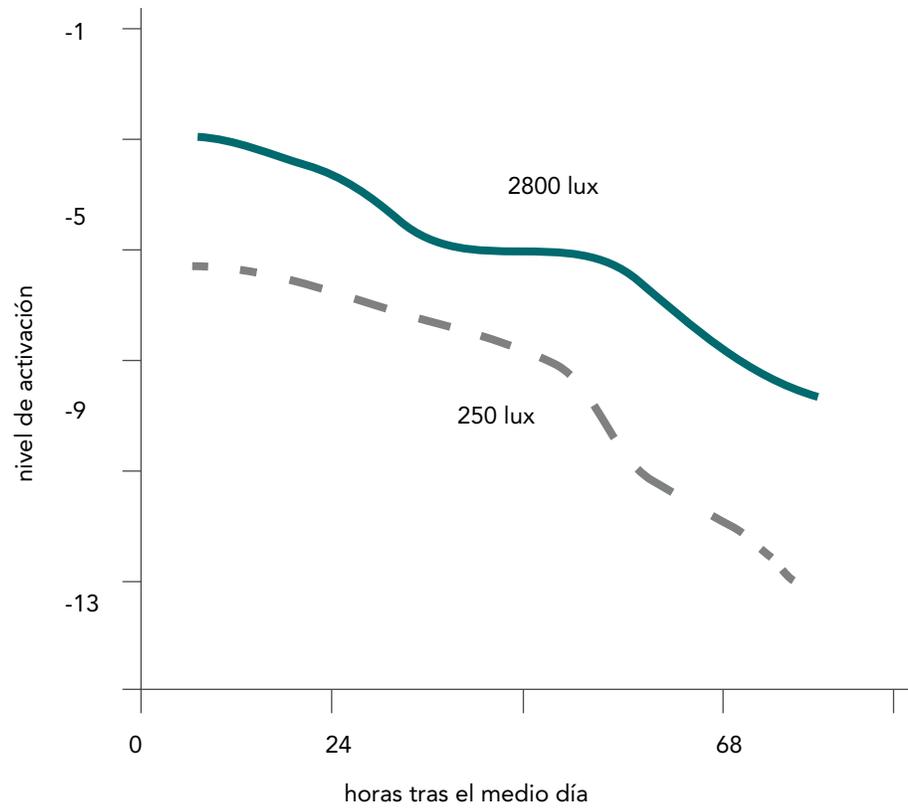
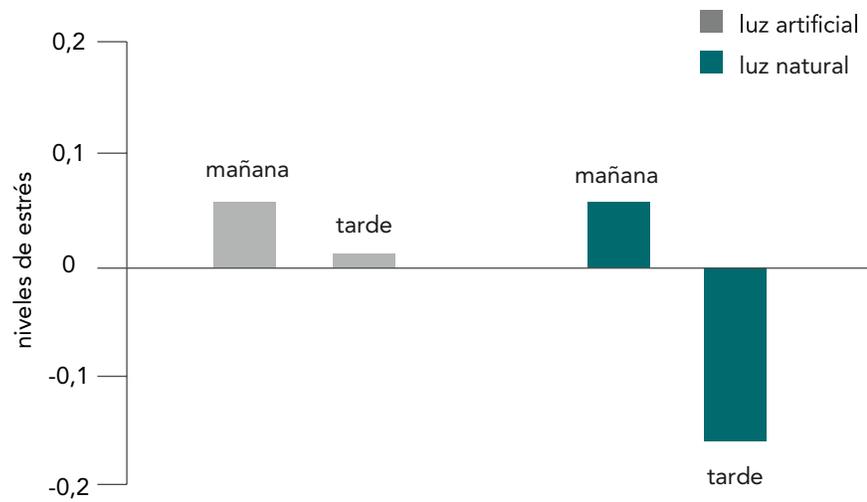


Fig 2. Niveles de estrés de un grupo de empleados que trabajan solo con luz artificial o con luz natural



Con respecto a los beneficios de la implementación de la luz natural para la iluminación de interiores, se pueden concluir los siguientes aspectos:

- La luz desempeña una importante función biológica, que contribuye a la salud y el bienestar del ser humano.
- La luz es fundamental para controlar el reloj biológico y los ritmos fisiológicos y psicológicos durante el día y las estaciones.
- La luz induce efectos estimulantes directos e influye sobre el estado de ánimo.

Imagen 1. Ejemplo de la utilización de la luz natural emitida por el sol para la iluminación de espacios internos



Es en este punto, donde pensar en la implementación de sistemas de iluminación natural, vendría a aportar beneficios para los costarricenses que hasta el momento no se han tomado en cuenta.

Desarrollar un sistema de este tipo para un país tropical como Costa Rica, representa un nuevo planteamiento en los métodos para aprovechar la luz natural, que por nuestras condiciones climáticas podría obtenerse un alto rendimiento que a su vez representaría reducciones en el gasto energético y como anteriormente se ha justificado, beneficios para la salud.

Surge entonces el planteamiento por parte de diferentes escuelas del Instituto Tecnológico de Costa Rica, la respectiva investigación y la realización de un Sistema de Iluminación Natural, a implementarse en la escuela de Arquitectura del TEC con sede en San José y la participación de la escuela de Ingeniería en Diseño Industrial como responsables del diseño de los sistemas que este contiene.

Como se verá en el presente documento existen diferentes factores y actores en el escenario que debemos tomar en cuenta para el desarrollo del proyecto, que intervienen directa o indirectamente tanto en el proceso de realización como en la implementación del mismo.

## 1.2 Marco Teórico

### La luz

Según define Paul Tippens, la luz es radiación electromagnética capaz de afectar el sentido de la vista. Como tal, es una forma de energía que se hace visible para el ojo humano. Según el autor a la luz se le atribuyen las siguientes características:

- se propaga en el espacio en línea recta
- cuando incide sobre una superficie lisa se refleja y vuelve al medio original (reflexión)
- su trayectoria cambia al penetrar en un medio transparente (refracción)

La luz se origina a partir de una fuente luminosa y una vez en el espacio, se difunde e interactúa con los objetos conforme avanza. Como explican algunos autores la luz por unidad de área disminuye según el cuadrado de la distancia. (CATEHE, 2005)

### Comportamiento de la luz

Al interactuar con el entorno, la luz experimenta diferentes fenómenos. En un documento acerca del tema de la iluminación emitido por la compañía Phillips en el año 2009 se definen de la siguiente forma.

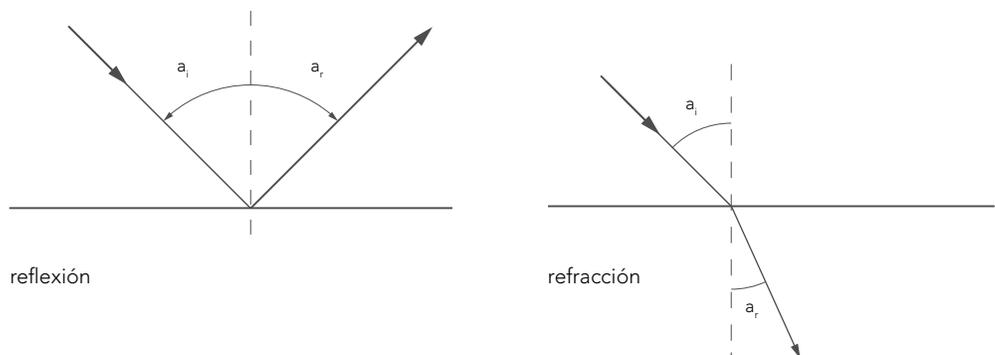
#### Reflexión

Es un fenómeno en el que la luz es reflejada por la superficie de un objeto con un ángulo de reflexión  $a_r$  igual al ángulo de incidencia ( $a_i$ ). En algunas aplicaciones se considera este fenómeno para direccionar la luz a puntos específicos.

#### Refracción

Si un rayo pasa de un medio a otro con una densidad óptica diferente, el rayo se divide y cambia su dirección, debido al cambio en la velocidad de la luz al pasar entre dos medios transparentes. El ángulo de refracción  $a_r$  es distinto del ángulo de incidencia  $a_i$ . Este fenómeno se considera en el diseño de lentes.

Fig 3. Reflexión y refracción



## Transmisión

Los materiales transparentes transmiten una parte de la luz que choca contra su superficie y el porcentaje de luz que es transmitida se conoce como su transmitancia.

## Absorción

Cuando la superficie de un material no es totalmente reflectiva o no es buen trasmisor, gran parte de la luz es absorbida. Esta se transforma en calor y la cantidad absorbida depende tanto del ángulo de incidencia como de la longitud de onda.

La temperatura del color en iluminación se determina según algunos factores:

- Ambiente
- Clima
- Nivel de Iluminación necesario
- Esquema de color en interiores

	Temperatura	Fuentes típicas
	1000	Velas, lámparas de aceite
	2000	Amanecer muy temprano, lamparas de tungsteno de bajo efecto
	2500	Bombillas caseras
	3000	Luz de estudio (continua)
	4000	Lámparas de magnesio claras
	5000	Luz día normal, flash electrónico
	5500	El sol de medio día
	6000	Día muy soleado con cielo despejado
	7000	Cielo ligeramente nublado
	8000	Cielo brumoso
	9000	Sombra amplia en un día despejado
	10000	Cielo muy brumoso
	11000	Cielos azules sin sol
	20000 +K	Sombra amplia en montañas o en un día muy despejado

## Iluminación

### Definición

Se habla de iluminación cuando se utiliza la luz para llenar un espacio. Más estrictamente el término podría definirse como la iluminación  $E$  de una superficie  $A$  se define como el flujo luminoso  $F$  por unidad de área (Tippens, 2011).

### Magnitudes Fotométricas

Las magnitudes fotométricas ofrecen información acerca de propiedades de las fuentes de luz (el caso del flujo luminoso e intensidad luminosa), acerca de la luz que llega a una superficie (por ejemplo la iluminancia) o bien la cantidad de luz percibida por el ojo humano (luminancia). (García Fernandez, 2012)

### Flujo Luminoso

Se define el flujo luminoso como la potencia ( $W$ ) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es  $\Phi$  y su unidad es el lumen ( $lm$ ). A la relación entre watts y lúmenes se le llama equivalente luminoso de la energía y equivale a:

$$1 \text{ watt-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

### Intensidad Luminosa

Se conoce como intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Su símbolo es  $I$  y su unidad la candela ( $cd$ ). A diferencia del flujo luminoso, es una medida que se refiere a la cantidad de luz emitida en una dirección concreta.

### Cantidad de luz

Esta magnitud sólo tiene importancia para conocer el flujo luminoso que es capaz de dar un flash fotográfico o para comparar diferentes lámparas según la luz que emiten durante un cierto periodo de tiempo. Su unidad es el lumen por segundo ( $lm \cdot s$ ) y su símbolo es  $Q$ :

$$Q = \Phi \cdot t$$

### Iluminancia

Al iluminar una pared con un foco se observa que cuanto más cerca está el foco más pequeño es el círculo que se dibuja y la intensidad de la luz es mayor. Cuando el foco se aleja, el círculo que se observa es más grande pero la luz es a su vez más débil. Lo que sucede es que la iluminancia disminuye, relacionando la intensidad luminosa y la distancia mediante la ley del cuadrado inverso.

Fig 4. Representación de iluminancia

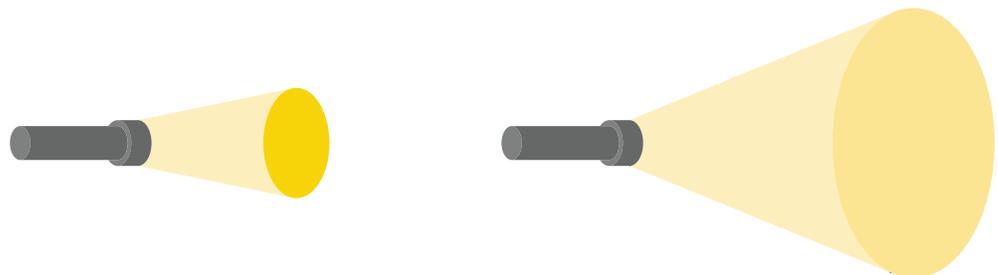
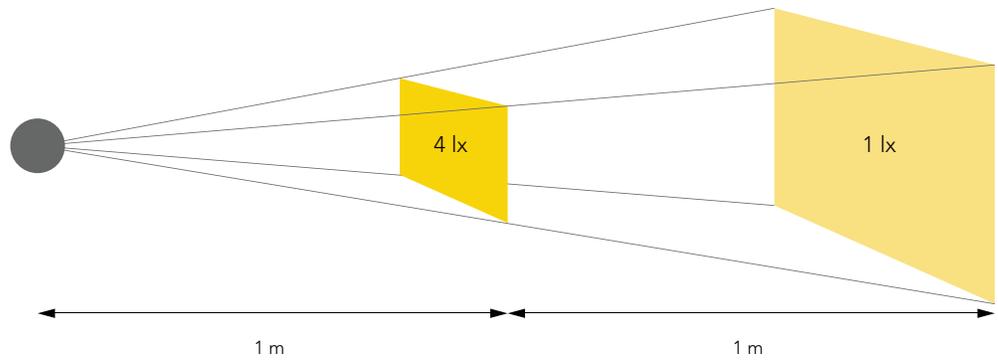


Fig 5. La iluminancia disminuye según el cuadrado de la distancia, de acuerdo con la ley del cuadrado inverso



Se define iluminancia como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es  $E$  y su unidad el lux (lx) que es un  $\text{lm}/\text{m}^2$ .

## Sistemas de Concentración de la luz

### Parábolas

Las parábolas permiten reflejar los rayos de luz que inciden en su superficie hacia un único punto, basándose en la ley de reflexión. Si se considera un plano tangente a cada punto de la parábola, un rayo que incide sobre dichos puntos será reflejado con un ángulo igual al ángulo de incidencia hacia un punto común. (André & Schade, 2002, p. 53)

Fig 6. Representación de una parábola

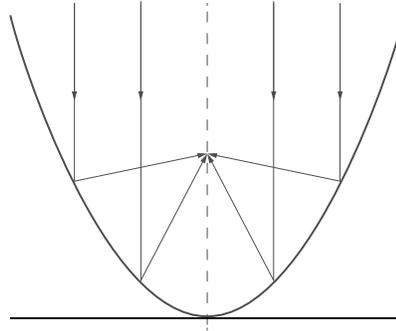


Imagen 2. Ejemplo de aplicación de las *parabolas* usadas para obtener energía solar.



## Lentes

Los lentes son objetos transparentes que son capaces de hacer converger o divergir la luz en un punto, mediante el principio de refracción. La curvatura de sus superficies y el índice de refracción del material del lente son lo que permiten cambiar la dirección de la luz. A partir de estos factores se define la distancia focal del lente, que es la distancia entre el eje del lente y el punto de enfoque o foco de la luz. (Jerry & Buffa, 2003)

## Tipos de Lentes

Fig 7. Tipos de lentes convergentes y divergentes

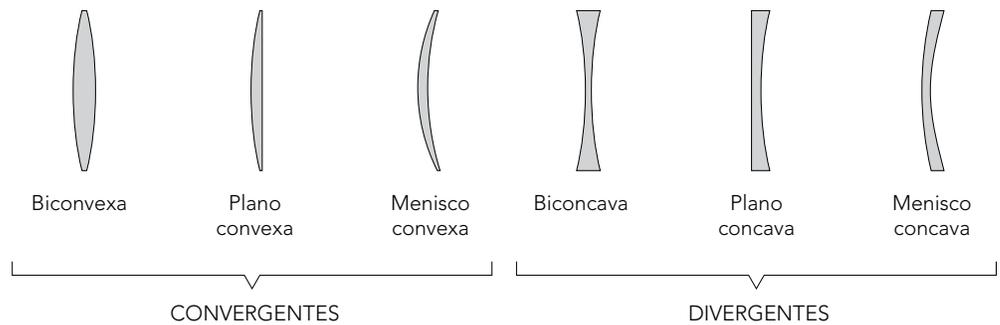


Imagen 3. Diferentes tipos y tamaños de lentes

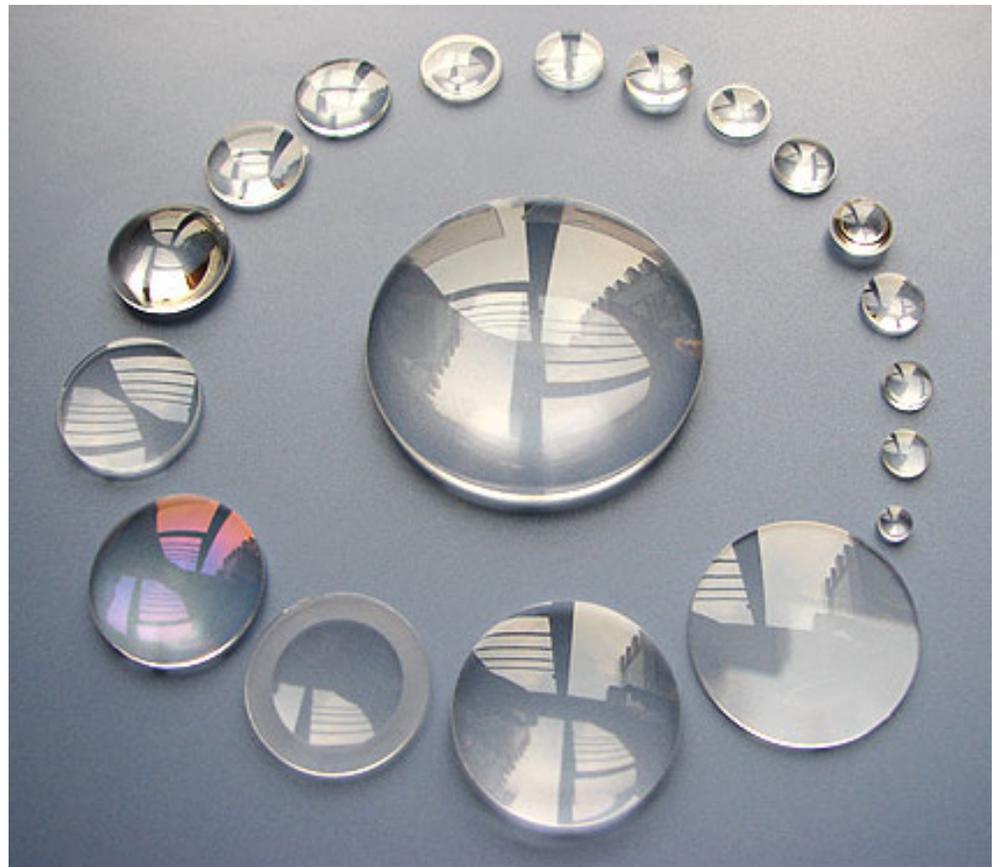
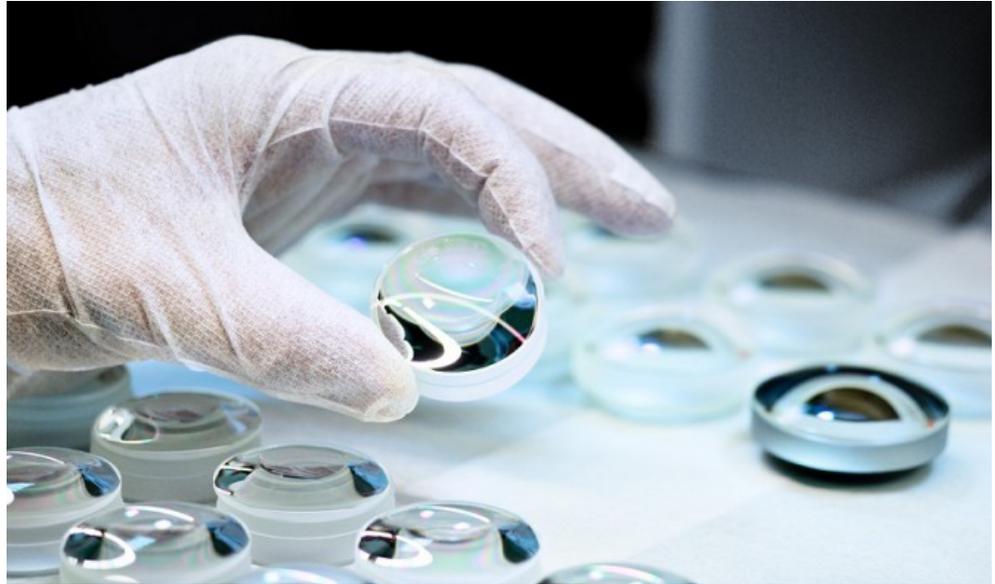


Imagen 4. Diferentes tipos y tamaños de lentes

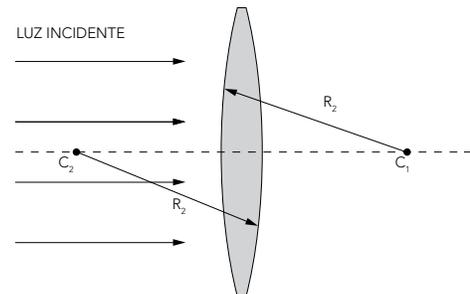


### Ecuación del fabricante de lentes

La refracción que produce una lente de sus superficies y del índice de refracción del material. Estas características se relacionan con la distancia focal mediante la llamada ecuación del fabricante de lentes:

Fig 8. Lente fresnel

$$1/f = (n-1)(1/R_1 - 1/R_2)$$



donde  $n$  es el índice de refracción del material,  $R_1$  y  $R_2$  son los radios de curvatura de las caras de la lente. La primer curvatura es a la que llega primero la luz. Se deben considerar las siguientes convenciones de signos para el uso de esta fórmula:

*R es positivo cuando C está en el lado de la lente por donde sale la luz, esto es, en la parte trasera del lente*  
*R es negativo cuando C está en el lado de la lente por donde llega la luz, esto es, en el lado delantero*  
*R = ∞ cuando la superficie es plana*  
*f es positiva si la lente es convergentes*  
*f es negativa si la lente es divergente*

### Potencia de la lente

Esta relación expresa la capacidad de la lente para hacer converger o divergir los rayos de luz en un punto y su relación es inversamente proporcional a la distancia focal del lente. El poder óptico se expresa en dioptrías. La fórmula es como sigue:

$$P = 1/f$$

## Lentes Fresnel

El surgimiento de los lentes Fresnel se debió al requerimiento de construir lentes de mayores dimensiones y menor grosor para su uso en faros marítimos y casas de luz. Su desarrollo se atribuye a los trabajos iniciales de Georges de Buffon y el perfeccionamiento posterior de Augustine Fresnel.

Fresnel observó que era la curvatura del lente la que provocaba la desviación de la trayectoria de la luz y reprodujo la curvatura de los lentes gruesos en secciones que mantenían la misma distancia focal pero con un grosor menor. Aunque la calidad de la imagen se deteriora, esto no afecta su uso para aplicaciones como la iluminación. (Nave, 2000)

Fig 9. representación del funcionamiento de los lentes fresnel

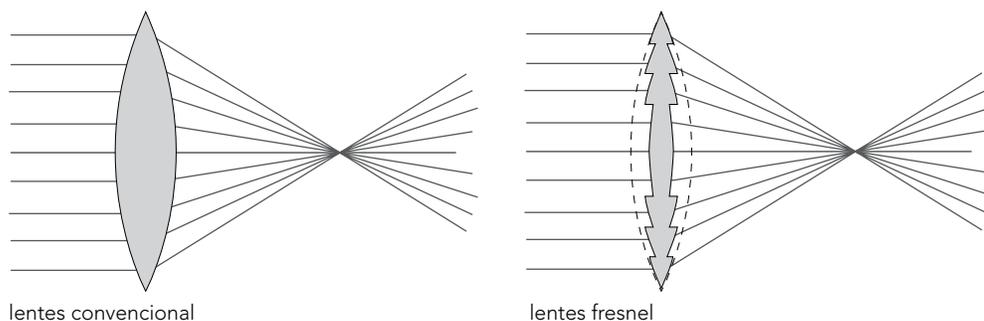


Imagen 5. Lente Fresnel con un corte transversal



## Aberraciones de las lentes

La aberración de las lentes se refiere a las diferencias que se dan en las distancias focales de los diferentes colores presentes en la luz que incide sobre el lente. Según definen Wilson y Anthony Buffa existen dos tipos de aberraciones que afectan a los lentes: la esférica y la cromática.

### Aberración Esférica

Consiste en que los rayos paralelos que pasan por regiones distintas de una lente no se reúnen en un punto focal común. En general los rayos más cercanos al eje del lente convergen en un punto más lejano que los de la periferia.

Se puede reducir el efecto de la aberración utilizando un diafragma que reduzca el área efectiva del lente. La otra opción consiste en utilizar combinaciones de lentes convergentes y divergentes pues la aberración de una lente puede compensarse con las propiedades ópticas de otra.

### Aberración Cromática.

Es un efecto debido a que el índice de refracción del lente no es el mismo para todas las longitudes de onda de la luz, es decir el material es dispersivo. Por esta razón se producen imágenes de colores distintos en distintos lugares. Una forma de minimizar la aberración dispersiva es usar lo que se conoce como un doblete acromático que consiste en un par de lentes de materiales distintos, por ejemplo, vidrio crown y vidrio flint.

## Sistemas de Transporte de la luz

### Fibra óptica

#### Definición

Consiste en un conjunto de largas fibras cilíndricas de un material transparente y dieléctrico (plástico, vidrio o cuarzo) que permite transmitir la luz en su interior. (André & Schade, 2002, p. 47). Permite el transporte tanto de luz artificial y natural, razón por la cual ha tenido un gran auge en aplicaciones para iluminación, aunque su uso más difundido es en telecomunicaciones. (Ghisi, 2002, p. 7) .

El principio básico de su funcionamiento se fundamenta en las leyes de la óptica geométrica conocidas como Ley de Refracción y Ley de Snell. Básicamente un haz de luz es transmitido por el núcleo de la fibra de manera que no atraviese su revestimiento sino que se refleje y se siga propagando.

Fig 10. Fibra óptica

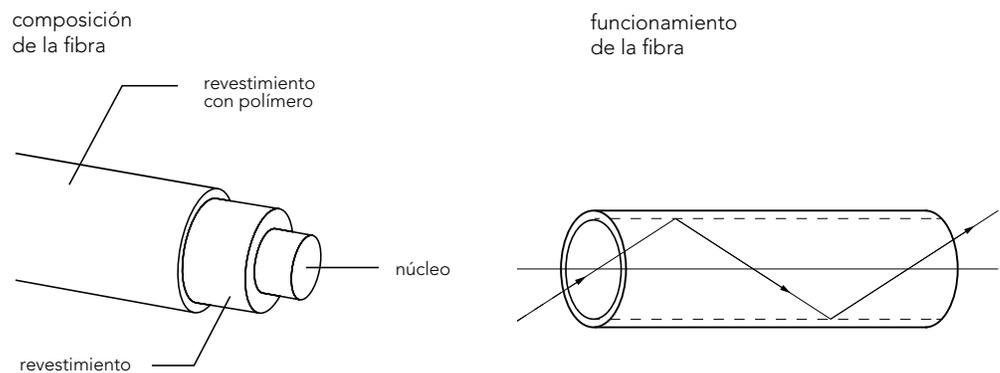
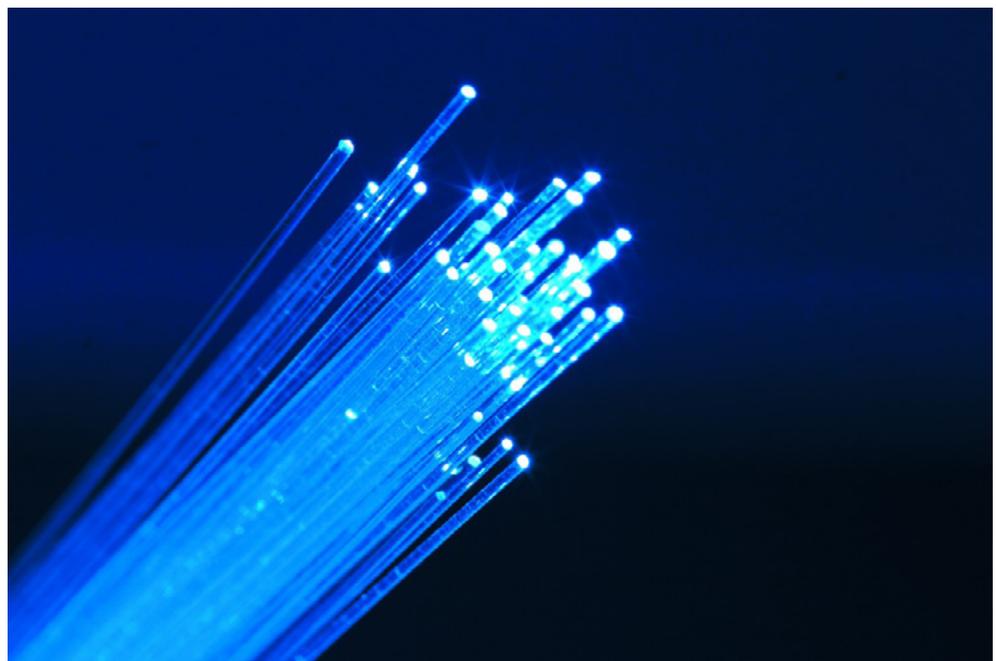


Imagen 6. Fibra óptica



## Materiales

Existen tres materiales en los que se produce la fibra óptica: vidrio, plástico y sílice o cuarzo. Cada material es recomendado para aplicaciones específicas:

Tabla 1. Materiales de fibra óptica

aplicaciones	material
comunicación	fibra de cuarzo
iluminación y sistemas de detección	vidrio
aplicaciones a baja temperatura	plástico

## Consideraciones para el uso de fibra óptica

Las consideraciones expuestas se extraen de Daylighting by optical fiber, documento en el cual se exponen aportes realizados por múltiples autores. (André & Schade, 2002, pp. 50,51)

### Cambios en el color de la luz

Las ondas de luz con longitudes de onda menores se atenúan más rápido que las de longitud de onda mayor al ser transportadas en la fibra óptica. Por ejemplo el color azul (longitud de onda corta) después de algunos metros se torna enverdecida.

### Ángulo de doblado

El transporte de la luz se realiza sin mayores pérdidas cuando el radio de estiramiento o curvatura es 8 veces o más sobre el diámetro del cable. En caso contrario se reducen sus propiedades ópticas puesto que la reflexión interna puede fallar.

### Exposición a Rayos UV y humedad

Ambos factores originan una degradación de las propiedades ópticas de la fibra óptica. Para ello se recomienda:

- evitar la exposición de los finales de la fibra al agua
- el uso de un material que resista la radiación UV en no menos de 92%

### Resistencia al calor

La exposición al calor puede generar el fallo de la fibra óptica en poco tiempo. Se tiene como referencias las temperaturas máximas de funcionamiento de algunos tipos de fibra:

Tabla 2. Especificaciones de la fibra óptica

productor	tipo	temperatura máxima
fiberoptic technology	plástico	92,7°
poly optics	núcleo solido	120°
fiberoptic technology	fibra estándar	177°
fiberoptic technology	vidrio	482°

## Pérdidas en la transmisión de la luz

Existen diferentes causas para que se den pérdidas de luz durante la transmisión mediante fibra óptica. El Ph.D Emedir Ghisi expone algunos de los principales. (Ghisi, 2002, pp. 31,32)

### Por distancia

Las fibras de alta calidad tienen una absorción de la luz de entre 1% y 2% por pie mientras que otras de menor calidad absorben entre 3y 5% por pie.

### Pérdidas por Fresnel

Las diferencias en los índices de refracción de los medios ubicados al inicio y final de la fibra pueden producir pérdidas de alrededor del 10% del flujo luminoso.

### Por reflexión

Son debidas a la degradación del proceso de reflexión interna ocasionada por impurezas y poca homogeneidad del revestimiento del núcleo de la fibra.

### Por Dispersión

Se producen principalmente en las fibras de plástico y ocurren porque los rayos de luz llegan al núcleo de la fibra con un ángulo de incidencia reducido.

### Por Atenuación

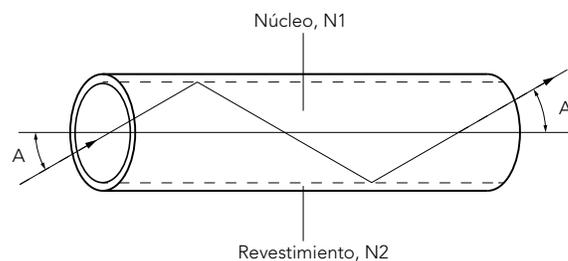
Este tipo de pérdidas son dependientes de la longitud de onda de la luz y por tanto determinan la región del espectro electromagnético que es útil para cualquier fibra óptica. Aunque son el principal mecanismo de pérdida de flujo luminoso se han realizado importantes avances para reducirla.

## Aspectos técnicos

### Ángulo de aceptación, ángulo crítico y apertura numérica

Las partes que componen la fibra óptica tienen índices de refracción distintos y debido a esto es posible que se produzca la reflexión total interna de la luz. El núcleo tiene un índice de refracción  $N1$  y el recubrimiento un índice  $N2$ . La luz entra a la fibra con un ángulo  $A$  y de esta forma es transmitida en su interior.

Fig 11. Aspectos técnicos de la fibra óptica



Cuando dicho ángulo es muy grande la luz no se transmite adecuadamente. Existen tres variables que se definen y relacionan entre sí de la siguiente forma:

- Ángulo Crítico: ángulo a partir del cual la luz no se transmite a la fibra
- Apertura Numérica: es la función seno del ángulo crítico
- Ángulo de Aceptación: es el doble del ángulo crítico

El ángulo de aceptación es mayor en las fibras de plástico y núcleo sólido que en las de vidrio. Si se rota el ángulo de aceptación alrededor del eje de la fibra se forma lo que se conoce como cono de aceptación, de manera que solo que los rayos de luz contenidos en este cono serán introducidos a la fibra. (André & Schade, 2002, pp. 48,49)

Es posible relacionar la apertura numérica con los índices de refracción de la fibra mediante la ecuación:

$$N.A = \sqrt{(N_1^2 - N_2^2)}$$

## Sistema de distribución de la luz

Dispositivo que distribuye, filtra y transforma la luz emitida por una o más lámparas, que incluye todos los componentes necesarios para fijarlas y protegerlas. Una luminaria debe distribuir la luz de la forma más eficiente posible, por medio del diseño y la configuración de diferentes componentes. (CIE, 1986)

## Características de una luminaria

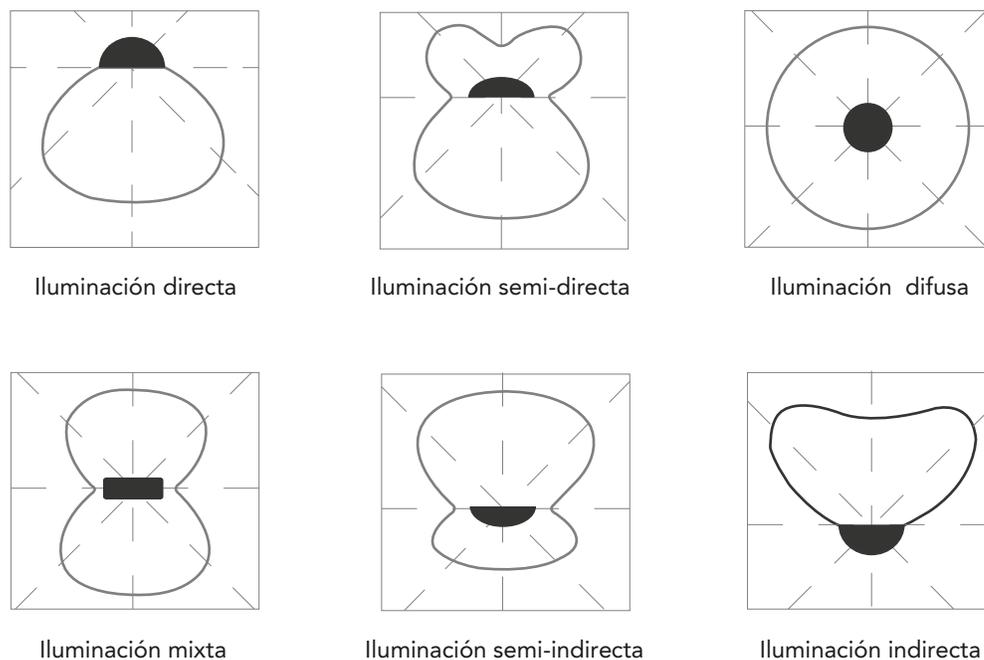
Las siguientes son las consideraciones que se toman en cuenta a la hora del diseño y la elección de una luminaria:

- Distribuir adecuadamente la luz en el espacio.
- Evitar toda causa de molestia provocada por deslumbramiento o brillo excesivo.
- Satisfacer las necesidades estéticas y de ambientación del espacio al que están destinadas.
- Optimizar el rendimiento energético, aprovechando la mayor cantidad de flujo luminoso entregado por las lámparas.

## Criterio óptico utilizado en las luminarias

Una primera manera de clasificar las luminarias es según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumine hacia el techo o al suelo. Según esta clasificación se distinguen seis clases:

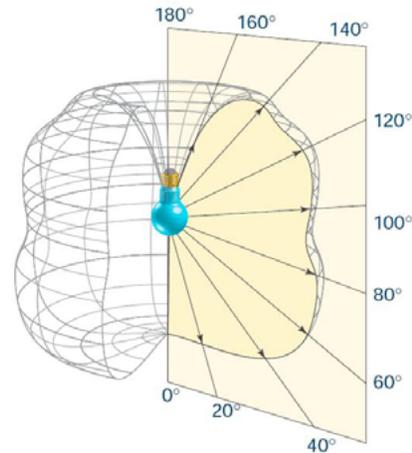
Fig 12. Clasificación de luminarias de acuerdo a su modo de iluminación



## Curva de distribución luminosa

También llamada curva fotométrica que es un diagrama polar donde se representa la intensidad luminosa de una lámpara o una luminaria, esta curva se obtiene al tomar mediciones de la intensidad luminosa desde distintos ángulos alrededor de una luminaria. Cada luminaria tiene una curva de distribución en particular, lo cual permite elegir la más adecuada para una aplicación determinada.

Fig 13. Curva fotométrica apartir de mediciones de intensidades luminosas de una luminaria



## Sistemas ópticos utilizados en las luminarias

La siguiente información ha sido recopilada del informe "Manual de Iluminación Eficiente" del Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, (Leonardo Assaf, 2006).

### Elementos reflectores

Superficies de tipo especular que reflejan la luz emitida por la lámpara, aumentando su intensidad luminosa, en determinadas direcciones.

#### Reflexión especular

Ocurre cuando la luz se refleja en una superficie lisa

#### Reflexión difusa

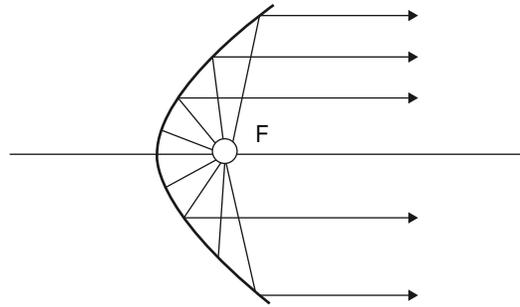
Ocurre cuando la luz se refleja en una superficie rugosa. Se utilizan reflectores para iluminación de interiores con superficie de reflexión difusa, por lo general blanco mate o bien superficies especulares en cristal espejado. Utilizan materiales como aluminio anodizado y plástico con un recubrimiento de cromo o aluminio. En este caso los reflectores de aluminio pueden soportar temperaturas mucho más altas. Un efecto mate logra una mayor uniformidad.

#### Reflectores Parabólicos

Ofrecen la posibilidad de dirigir la luz de un modo más variado, obteniéndose radiación concentrada, paralela, abierta o asimétrica. Se emplean en la iluminación de interiores.

La propiedad más importante del reflector parabólico es que una fuente de luz puntal situada en el foco de la parábola da lugar a un haz de rayos reflejados paralelo al eje parabólico. Mientras que si la fuente se desplaza hacia atrás o hacia adelante el haz converge o diverge respectivamente.

Fig 14. Reflector parabólico

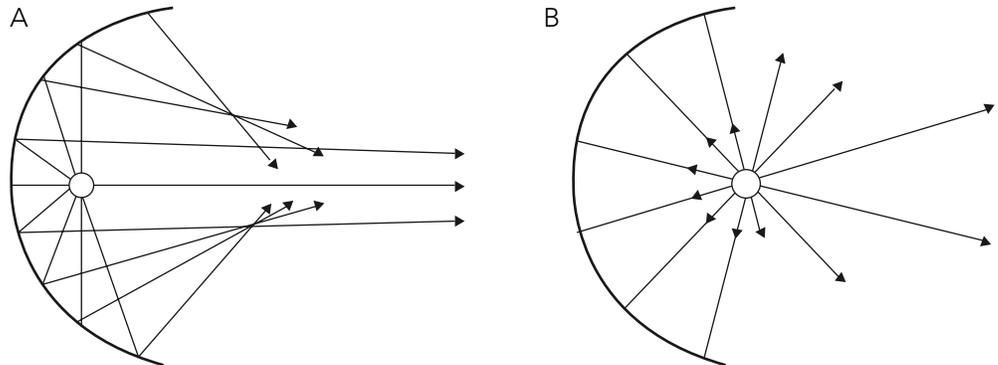


### Reflectores Esféricos

Una fuente puntual situada en el foco de un reflector especular esférico orientará sus rayos reflejados en la forma indicada en la figura #a, en la que se aprecia que solamente los rayos cercanos al eje, los rayos paraxiales, se reflejan casi paralelamente al mismo.

Cuando la fuente puntual se ubica en el centro de la curvatura los rayos incidentes sobre el reflector se reflejarán a través de la propia fuente en todas direcciones tal como se aprecia en la figura #b.

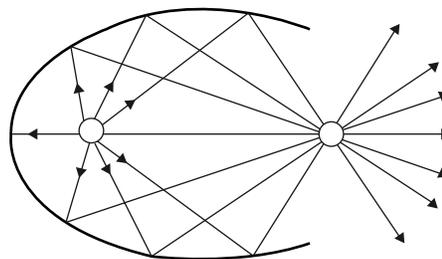
Fig 15. (A) Reflector esférico con fuente puntual en el foco  
(B) Reflector esférico con fuente puntual en el centro



### Reflectores Elipticos

En estos reflectores la radiación luminosa de la lámpara que se encuentra en uno de los focos de la elipse se refleja hacia el segundo punto focal. También se puede apreciar el resultado de colocar la fuente delante o detrás del foco.

Fig 16. Reflector elíptico con dos puntos focales



## Difusores

Son utilizados cuando se desea dirigir la luz hacia zonas amplias del ambiente. Como difusor se usan metales y pinturas con acabados mates. Los valores de reflectancia de estos pueden llegar al 90%. Cuanto menos profundo es el reflector mayor será la eficacia pues con la profundidad aumentan las interreflexiones y disminuye la proporción de luz emitida. Son utilizados principalmente en iluminación de espacios interiores a fin de conseguir niveles de luminancia uniformes.

Los materiales transparentes como el cristal, el vidrio o el acrílico permiten la transmisión de la luz con cambios poco apreciables en su dirección. Esto no significa que el 100% de la luz es transmitida.

### Transmisión directa

La transmisión directa se produce en materiales transparentes tales como el vidrio, el cual absorbe una cantidad mínima de luz.

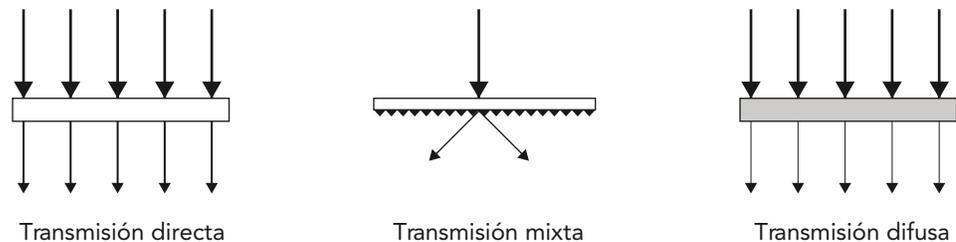
### Transmisión mixta

La transmisión mixta ocurre con materiales translucidos, donde la luz emerge en un ángulo más abierto que el de incidencia. La dirección del haz en general se mantiene igual y la fuente de luz es perceptible.

### Transmisión difusa

La transmisión difusa a través de materiales como el vidrio opalino o el acrílico lechoso disemina la luz en todas direcciones y obscurecen la imagen de la fuente de luz. Los difusores generalmente transmiten del 40% al 60% de la luz incidente.

Fig 17. Tipos de transmisión de la luz generada por difusores



## Tipos de difusores

### Acrílico lechoso

Se trata de uno de los difusores más populares. Consta de una lámina plana o moldeada de acrílico blanco.

Se obtiene en variadas densidades, pero aún los menos opacos absorben entre el 50% y el 60% de la luz incidente. Producen una luz difusa blanda y envolvente. El control del deslumbramiento es solo relativo. No es suficiente para puestos con pantallas de video.

### Las lentes

Así denominados por su capacidad de interceptar la luz y redirigirla de una manera más o menos efectiva.

Son placas de acrílico o vidrio translúcido generalmente con una textura de pequeños prismas, conocidos como "punta de diamante". Su control del deslumbramiento es algo mejor que el acrílico liso y absorbe menos luz que este último.

### Los louvers

Se trata de unos aditamentos que forman parte de la luminaria y que están ubicados normalmente en la parte inferior de la misma. Pueden ser de chapa de acero esmaltada color blanco, plástico, acrílico moldeado y anodizado o aluminio en sus versiones pulido brillante o semimate.

Tienen por misión ocultar las lámparas de la visión normal y redirigir con más precisión los haces de luz.

#### - Tipo casetones

Este tipo de louvers es muy popular en la iluminación de oficinas. Generalmente presentan un canal longitudinalmente por cada tubo y luego lamelas transversales equidistantes entre sí entre 5 y 7 cm. Se los puede encontrar blancos, de aluminio extruido o plástico. En general producen una distribución luminosa bastante concentrada.

#### - El doble parabólico

Es un louver mucho más elaborado, construido generalmente con aluminio pulido y anodizado de muy alto poder reflectante. De forma bastante similar al de casetones, difiere de estos en que tanto los largueros como las lamelas transversales tienen un perfil curvo parabólico destinado a redirigir con gran precisión los haces de luz.

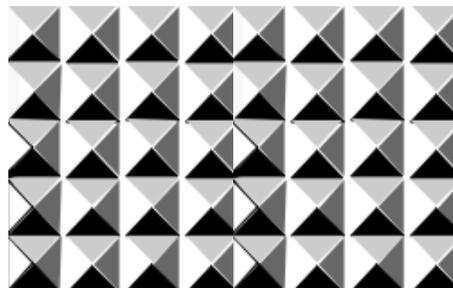
## Elementos Refractores para difusión de la luz

En ocasiones llamados también difusores prismáticos, refractan la luz procedente de las lámparas y reflectores, en direcciones privilegiadas de forma que establecen un control de las intensidades luminosas y prácticamente del deslumbramiento.

### Refracción en Prismas

Se utilizan para un mejor redireccionamiento tanto para lograr iluminación homogénea como para proveer apantallamiento. Los sistemas prismáticos que se utilizan en sobre todo en luminarias para lámparas fluorescentes tabulares previstas para iluminación general, consisten en un panel horizontal liso en su parte superior y con prismas conicos o piramidales en su parte inferior.

Fig 18. Configuración prismática utilizada para difundir la luz



## Luminaria y fibra óptica

Como hace referencia el CIE en su informe de Sistemas de Iluminación, para el uso de fibra óptica en luminarias se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- La luz sale de la fibra óptica con un ángulo de 58°.
- A dos metros del extremo del cable, ilumina un círculo de 2,2m (corresponde a un área de 3,8 m<sup>2</sup>) con una intensidad de 500 lux.
- Intensidades lumínicas recomendables:
  - Trabajos minuciosos: 1000 lux
  - Lectura, estudio, comer... 500 lux
  - Reunión, diversión... 200 lux

En la siguiente información se muestra por medio de un gráfico y una tabla la distribución lumínica que se genera a partir de un terminal de fibra óptica

Fig 19. Diagrama de luminancia generado a partir de la terminal del cable de fibra óptica

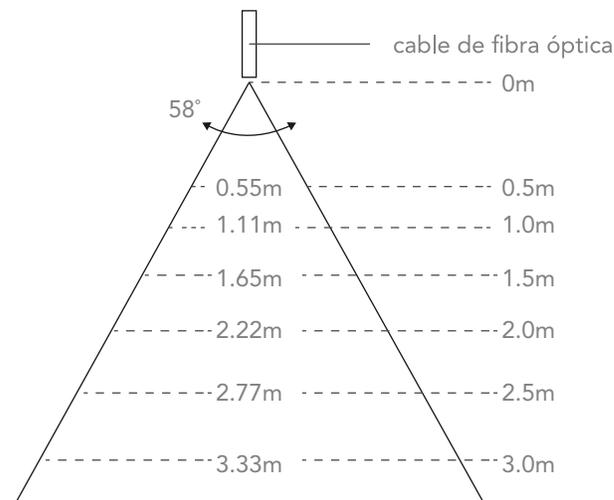


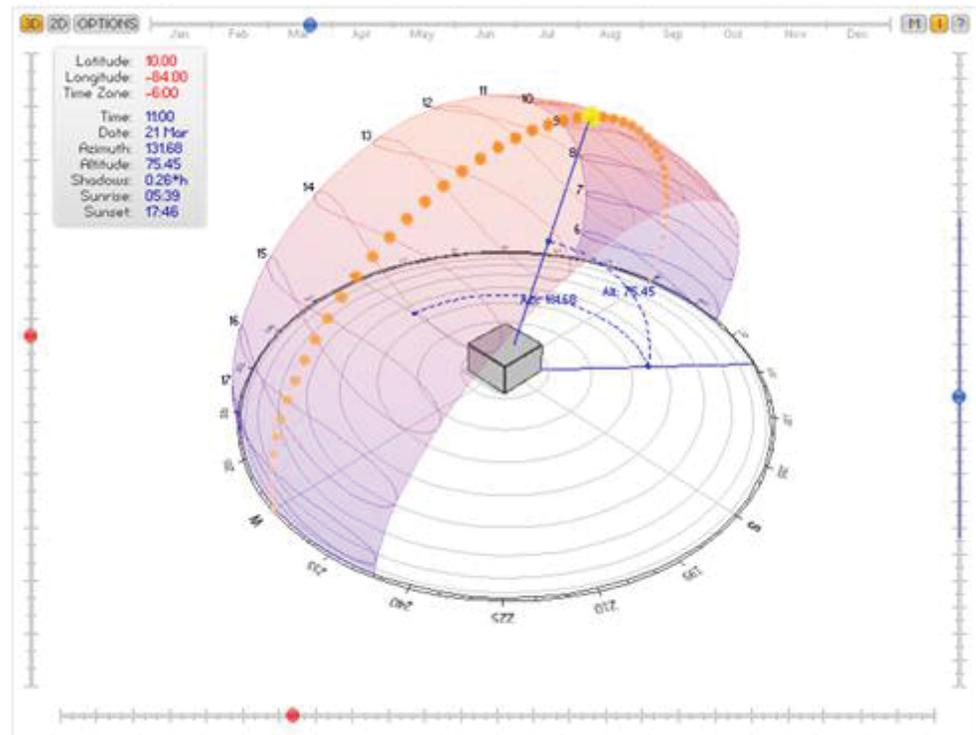
Tabla 3. Representación de la distribución lumínica y su variación dependiendo de la distancia de iluminación

Distancia iluminación	Ganancia lumínica (lux)	Luminancia en el centro (lux)	Diámetro de zona iluminada (m)	Area iluminada (m <sup>2</sup> )
0,5	7967	11154	0,554	0,241
1	1990	2786	1,109	0,966
1,5	884	1238	1,663	2,172
2	497	696	2,217	3,860
2,5	318	425	2,772	6,035
3	221	309	3,326	8,688

## El movimiento del sol

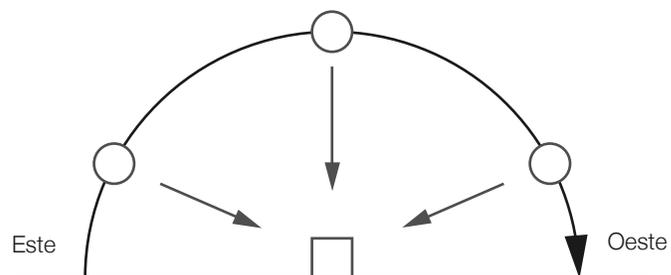
Para el diseño del colector de la luz solar, se debe de tomar en cuenta el movimiento que realiza el sol en relación con la tierra, este es tanto en dirección este-oeste como en norte-sur, como lo muestra el siguiente gráfico.

Imagen 7. Trayectoria del sol



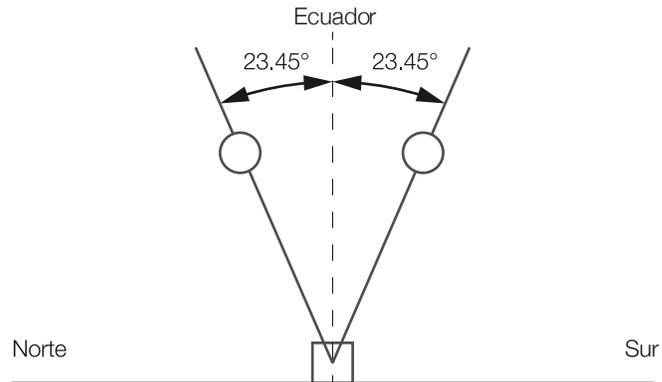
### Movimiento del sol este-oeste (diario)

Fig 20. Movimiento diario del sol



## Movimiento del sol norte-sur (anual)

Fig 21. Movimiento anual del sol



## Materiales

El Acero Inoxidable es usado por su resistencia a la oxidación, dureza, higiene y belleza de acabado. Los de la serie 300, como el AISI 304 poseen las siguientes características:

- Resistencia a la oxidación en todos los ambientes excepto en zonas marítimas y zonas altamente contaminadas o en contacto con ácidos y similares.
- Idéntica respuesta mecánica: Soldadura, curvado, cizallado, corte láser, etc.
- Idéntico acabado y estética.
- Gran durabilidad.

## 1.3 Marco Metodológico

El marco lógico es un instrumento que ayuda a identificar, planificar y estructurar los elementos principales de un proyecto, permitiendo entrelazar los elementos más relevantes que permiten el adecuado planteamiento del proyecto.

### 1.3.1 Análisis de Involucrados

Abarca escuelas, funcionarios y personas usuarias que están relacionadas al proyecto o que se ven afectadas con la problemática existente.

Para este análisis se toman en cuenta sus intereses, problemas, recursos, intereses en estrategias y conflictos potenciales.

### 1.3.2 Arbol de Problemas

Se obtienen del análisis anterior, se realiza con el propósito de establecer las relaciones causa-efecto de la situación existente.

### 1.3.3 Arbol de Objetivos

Define el fin y los medios que se utilizarán para satisfacer los intereses del grupo de involucrados.

### 1.3.4 WBS

Consiste en un desglose de las actividades que se realizarán para lograr los objetivos planteados, definiendo el alcance del proyecto.

## 1.4 Marco Lógico

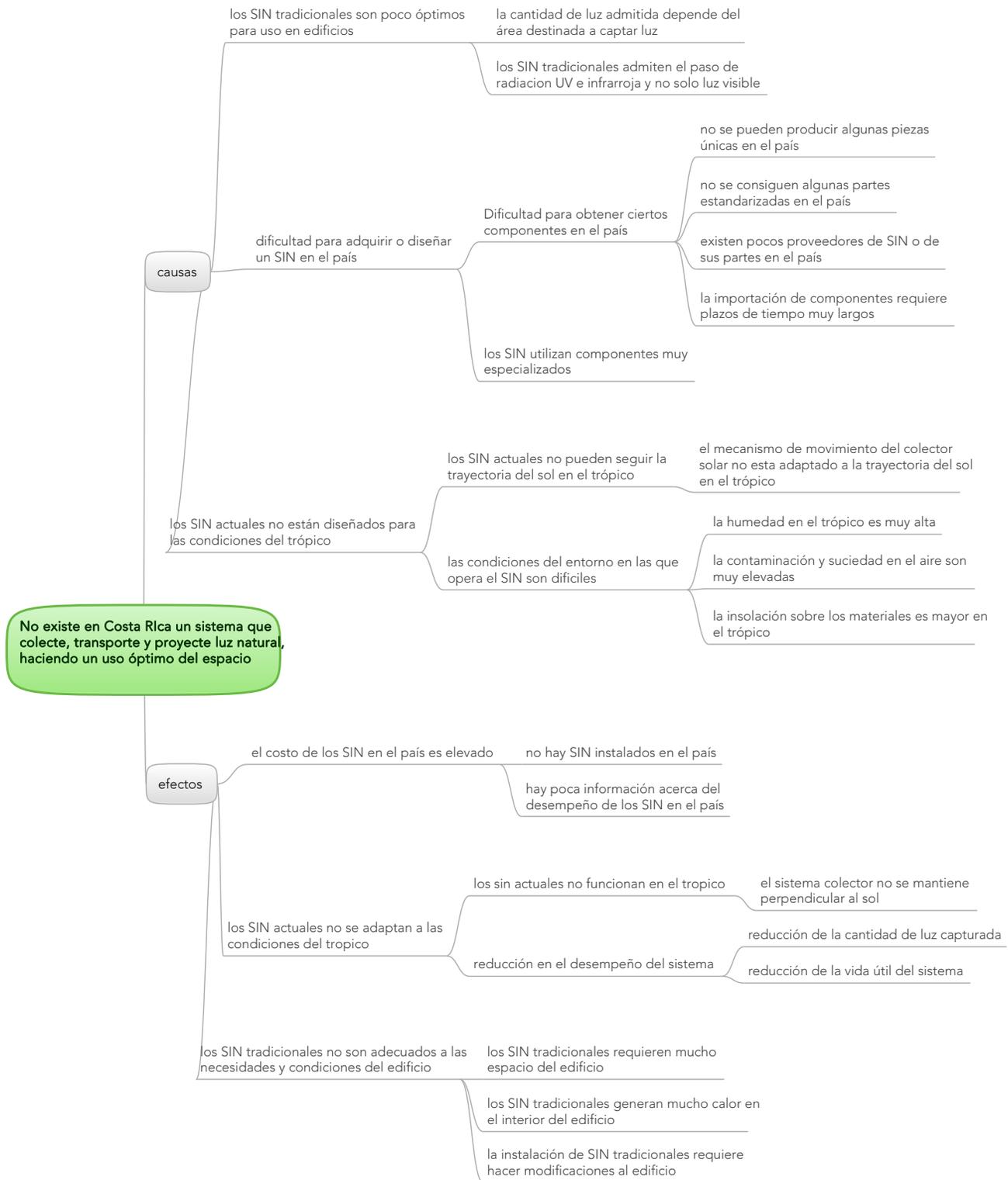
### 1.4.1 Análisis de Involucrados

Tabla 4. Análisis de involucrados

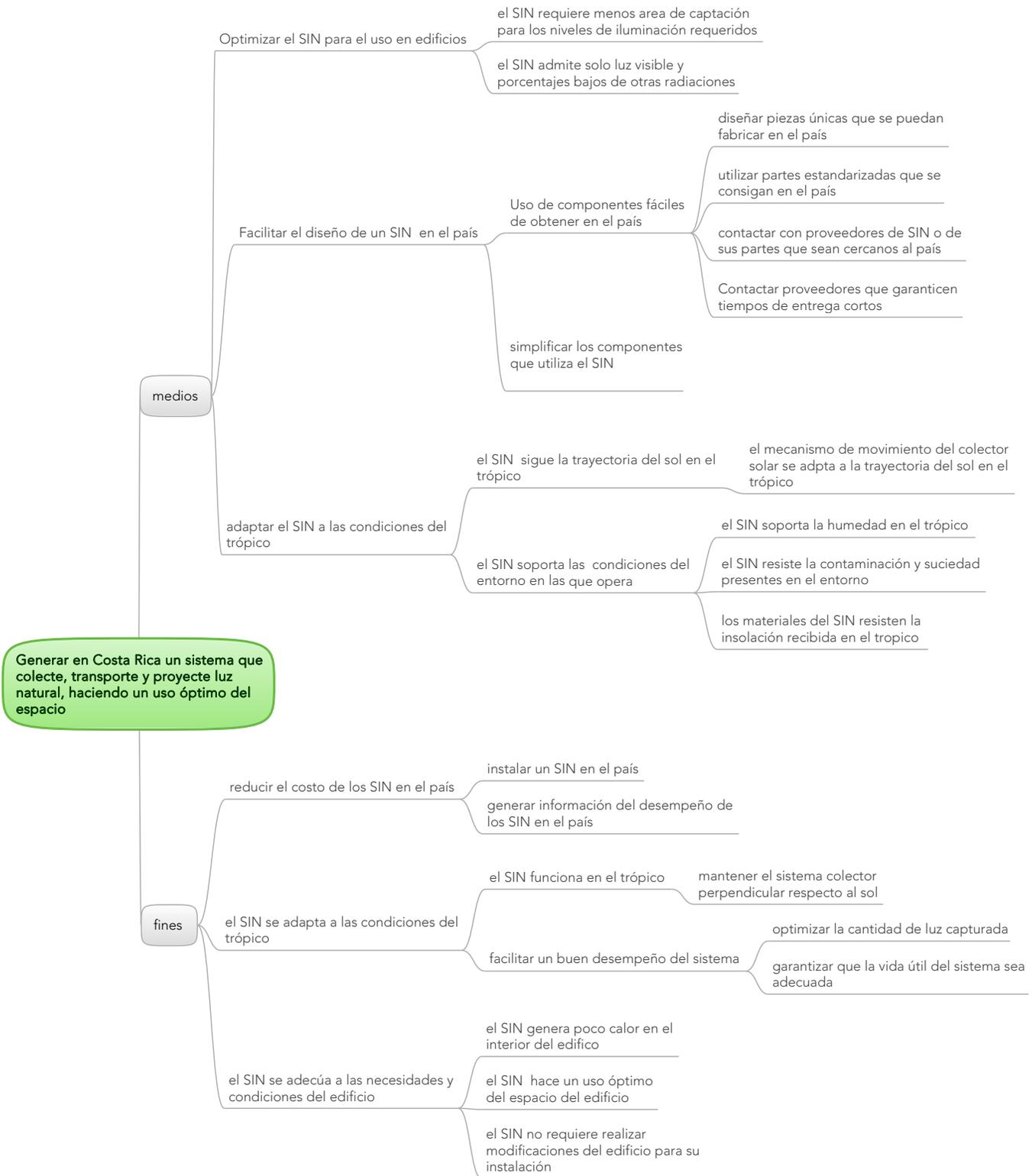
Grupos	Intereses	Problemas percibidos	Recursos	Interés en estrategias	Conflictos potenciales
» Escuela de Arquitectura	<p>Realizar un análisis comparativo de técnicas para transporte vertical de luz natural</p> <p>Evaluar el rendimiento lumínico de un SINFO durante seis meses</p> <p>Diseñar/adquirir un SINFO para el edificio SJ-3</p> <p>Producir una guía para el diseño de iluminación natural en el país</p> <p>Obtener resultados satisfactorios con la en la evaluación del SINFO</p>	<p>Los SIN actuales no están diseñados para las condiciones climáticas del trópico</p> <p>Los SIN actuales tienen un costo elevado</p> <p>Los SIN no se usan en Costa Rica</p> <p>Los SIN no son compatibles con los edificios de Costa Rica</p> <p>La investigación no se puede desarrollar con alguno de los SIN existentes</p>	<p>Apoyo de profesionales, personal del TEC y otros contactos</p>	<p>Alto. Buscan generar un proyecto que se considere innovador dentro del sector de iluminación de edificios en el país</p>	<p>No utilizar fibra óptica</p>
» Escuela de Diseño Industrial	<p>Adaptar un SIN a las condiciones climáticas del trópico</p> <p>Reducir los costos de fabricación</p> <p>Facilitar la relación hombre-objeto</p> <p>Desarrollar un proyecto que genere beneficios para el TEC</p>	<p>No hay mediciones de referencia del desempeño de los SIN</p> <p>Dificultad para obtener ciertos componentes que requieran los SIN</p> <p>No hay criterios definidos para el diseño de SIN en el país</p> <p>Los SIN existentes no son acordes con la arquitectura del edificio</p> <p>En el país no hay capacidad instalada para fabricar algunas piezas únicas</p> <p>El SIN debe adaptarse a la arquitectura de muchos edificios diferentes</p>	<p>Recursos brindados por la VIESA</p> <p>Apoyo por parte del personal de la escuela</p>	<p>Alto. Se busca generar un sistema innovador y a partir de la oportunidad de investigación ofrecida por el proyecto</p>	<p>Incumplimiento del cronograma por parte de los involucrados en el proyecto</p>
» Escuela de Mecatrónica	<p>Diseñar un sistema de seguimiento del sol (suntracking) adaptado a condiciones climáticas del trópico</p>	<p>La trayectoria del sol es diferente para el trópico respecto a los hemisferios norte-sur</p> <p>Mantener la perpendicularidad del sistema de captación respecto al ángulo de incidencia de la luz solar</p>	<p>Recursos brindados por la VIESA</p> <p>Apoyo por parte del personal de la escuela</p>		<p>Desfase en el cronograma de trabajo</p>

<p>» <b>Encargados de instalación y mantenimiento</b></p>	<p>Facilidad de instalación del SIN</p> <p>Uso de herramientas estandarizadas</p> <p>Espacio accesible para mantenimiento</p>	<p>El acceso físico al lugar de instalación o mantenimiento es complicado y en algunos edificios es limitado</p> <p>El sistema puede requerir elementos o partes muy especializadas</p> <p>Los SIN pueden resultar difíciles de instalar</p> <p>Los sistemas de transporte como la fibra óptica son difíciles de reparar e caso de daño</p>	<p>Información acerca del mantenimiento</p>	<p>Medio. En la medida que el SIN sea más fácil de mantener que los sistemas de iluminación artificial</p>	<p>Preferencia por el uso de sistemas tradicionales</p> <p>Diversidad de infraestructuras donde instalar y realizar mantenimiento</p>
<p>» <b>Usuarios del edificio</b></p>	<p>El SIN no debe disminuir el área útil del espacio de trabajo</p> <p>Un nivel de iluminación constante y adecuada durante el día</p> <p>Facilidad de uso del sistema</p> <p>Posibilidad de variar la intensidad de la luz</p> <p>Tener la posibilidad de encender y apagar la luz</p>	<p>El sistema depende de la luz solar para funcionar</p> <p>El nivel de iluminación varía durante el día</p>		<p>Bajo. Este tipo de sistemas son poco conocidos en el país y actualmente no se consiguen en el mercado local, por lo que muchos usuarios desconocen su existencia.</p>	<p>Incomodidad ante las variaciones de luz</p> <p>El sistema de encendido y apagado no es idéntico al que el usuario está acostumbrado</p>
<p>» <b>Propietarios de edificios</b></p>	<p>Reducción de costos de operación del edificio</p> <p>Cumplir con políticas de gestión ambiental</p> <p>Darle una imagen de eco-amigable al edificio</p> <p>Que la instalación del SIN resulte rentable</p> <p>Que la instalación del SIN no implique modificaciones del edificio</p>	<p>Aun cuando se instala el SIN el edificio sigue necesitando de la luz artificial</p> <p>El mantenimiento del SIN es más especializado que el de sistemas de iluminación artificial</p> <p>Posibilidad de que existan costos del mantenimiento del SIN</p>	<p>Inversión en el proyecto</p>	<p>Medio. Por la posibilidad de reducir costos de operación del edificio</p>	<p>Desinterés en la implementación del sistema</p> <p>Que se considere que tenga costo excesivo</p> <p>Que la instalación afecte a los inquilinos del edificio</p>

### 1.4.2 Arbol de Problemas



### 1.4.3 Arbol de Objetivos



## 1.5 Definición del problema

### 1.5.1 Problema de diseño

No existe en Costa Rica un sistema que aproveche la luz solar para iluminar el interior de los edificios adaptado al clima tropical, que sea de bajo costo y que haga un uso óptimo del espacio.

### 1.5.2 Justificación

Aprovechar la luz natural para disminuir el consumo energético, de esta manera iluminar un edificio de dos o más pisos. Además lograr una reducción del impacto ambiental que produce la generación de la luz artificial.

Con esto se aprovechan los beneficios para a salud del ser humano que provee la luz solar.

### 1.5.3 Objetivos

General

utilizar la luz solar para iluminar el interior de los edificios mediante el diseño de un sistema adaptado a las condiciones climáticas del trópico, que requiera poco espacio y que sea de bajo costo.

Específicos

Diseñar un sistema que capte la luz solar por medio de un dispositivo que siga la trayectoria del sol en el trópico

Diseñar un sistema que transporte luz solar utilizando un medio que no requiera mucho espacio

Diseñar un sistema que distribuya luz solar en el interior del edificio por medio de una luminaria alimentada a través de luz solar

### 1.5.4 Alcance

Tabla 5. Definición del alcance

WBS Diseño de SIN			
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
- Análisis del problema	- Diseño conceptual	- Representación de esquemas	- Desarrollo de detalles
-Marco lógico	Bocetos	Selección de propuestas	Planos constructivos
Análisis de involucrados	Modelado 3D	Simulaciones	Especificaciones de materiales
Arbol de problemas	Matriz de toma de decisiones	Modelado 3D	Manual técnico
Arbol de objetivos	Análisis de alternativas	Bitacora	Informe del proyecto
Matriz de marco lógico	Presentación previa		Presentación final
-Metodología WBS -Diagrama de estrategias -Cronograma del proyecto -Anteproyecto -Bitacora	Bitacora		

### 1.5.5 Limitaciones

Los siguientes aspectos son considerados como posibles limitaciones con las que pueda contar el proyecto:

Variación del cronograma del proyecto debido a incumplimientos de parte de alguna de las demás partes involucradas

Dificultades para conseguir partes especializadas que requiera el sistema  
Desfase en el cronograma por algunas de las partes

Preferencia por el uso de sistemas tradicionales

Diversidad de infraestructuras donde instalar y realizar mantenimiento

### 1.5.6 Supuestos

Para el desarrollo del proyecto se asumen los siguientes supuestos:

Contar con colaboración de escuelas de arquitectura, diseño y mecatrónica

Asesoría y colaboración de la empresa Himawari  
Recursos financieros y materiales suministrados por el TEC para el desarrollo del proyecto

Contar con apoyo de profesores y personal de departamentos externos al proyecto

Estudios, mediciones e investigaciones previas realizados para efectos del proyecto

Descubrir una nueva tecnología en el transcurso de la investigación

## 2. Desarrollo de la investigación

### 2.1 Desarrollo y selección de concepto de diseño

#### 2.1.1 Análisis de lo existente del captador

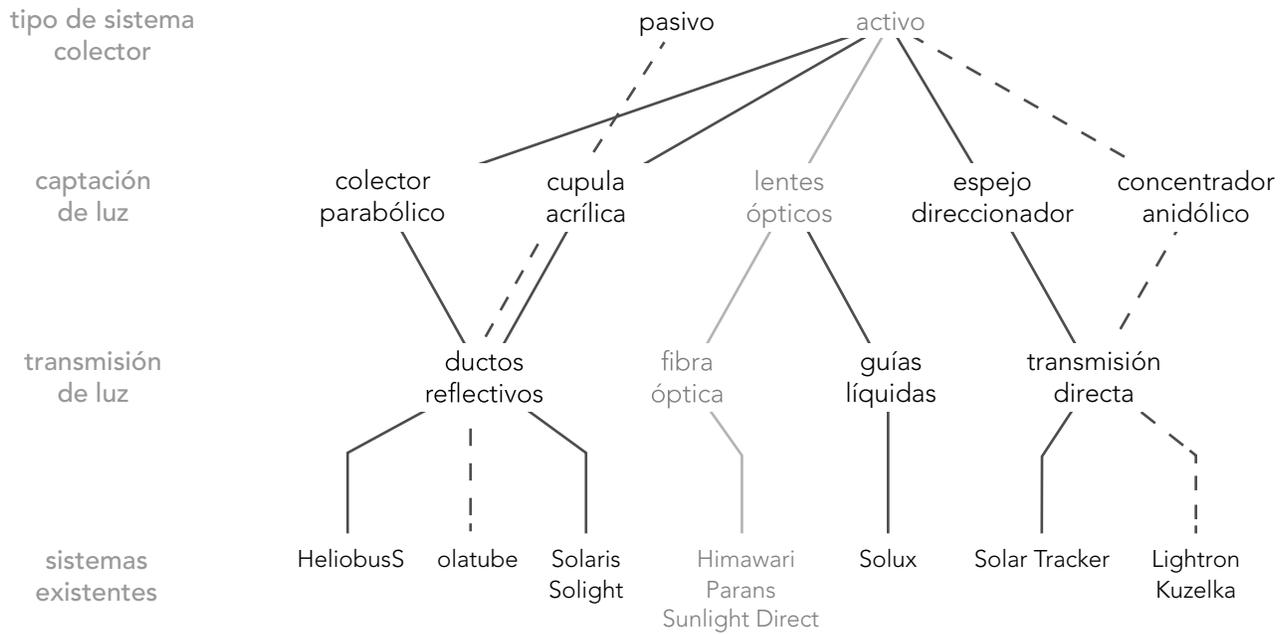


Imagen 8. Ejemplos de sistemas de seguimiento del sol



parans



himawari



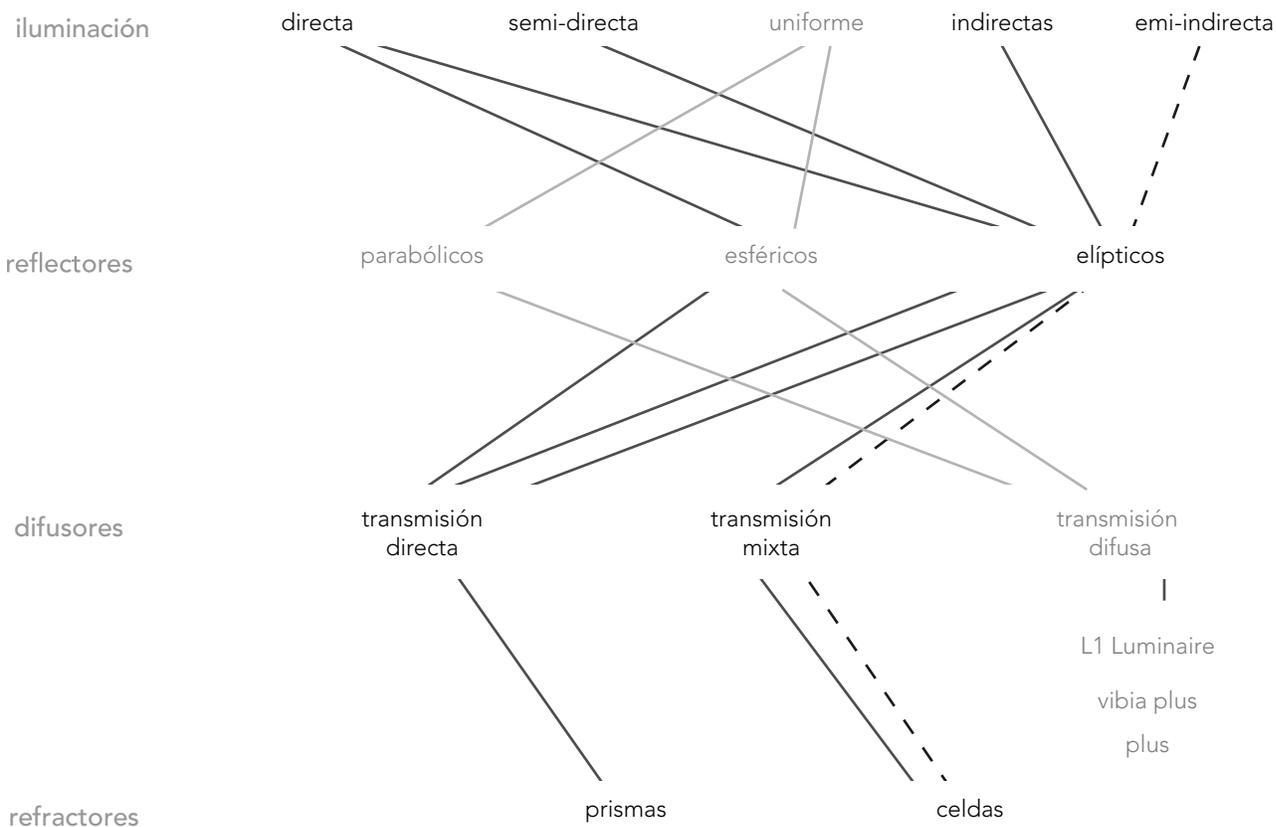
sunlight direct

### 2.1.2 Análisis de lo existente de la fibra óptica

Tabla 6. Descripción de lo existente de fibra óptica

Productor	Tipo	Temperatura máxima
Fiberoptic technology	Plástico	92.7°
Poly optics	Núcleo sólido	120°
Fiberoptic technology	Fibra estándar	177°
Fiberoptic technology	Vidrio	482°

### 2.1.3 Análisis de lo existente de las luminarias



## 2.1.4 Análisis Tecnológico

Para el análisis de materiales, se toman como referencia sistemas existentes como el Parans, Himawari y Sunlight Direct. Estos sistemas cumplen la misma función de captar la luz solar, pero fueron creados de acuerdo a las características específicas del hemisferio norte.



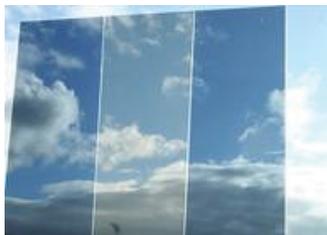
Parans



Himawari



Sunlight Direct



Filtro



Motor

### Materiales

#### Acero Inoxidable

Tienen una resistencia a la corrosión natural que se forma automáticamente. Tienen una gran resistencia mecánica, son resistentes a temperaturas elevadas y a temperaturas criogénicas. Son fáciles de transformar en gran variedad de productos y tiene una apariencia estética, que puede variarse sometiendo el acero a diferentes tratamientos superficiales para obtener acabado a espejo, satinado, coloreado, texturizado, etc.

Serie 300. Los Aceros Inoxidables Austeníticos.  
propiedades:

- Resistencia a la corrosión
- Excelente factor de higiene-limpieza
- Fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico
- Se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

#### Materiales Disímiles

Son materiales que tienen propiedades similares, por lo que es conveniente combinarlos para mantener sus propiedades. Por ejemplo la utilización de acero en la carcasa en combinación con tornillos y tubería de acero.

#### Los filtros de Interferencia

Tanto para rayos UV como IR, son piezas de cristal o acrílico completamente transparentes que se colocan en la parte superior, evitando así la transmisión de calor dentro del colector y dentro de la habitación. Son tratados de forma óptica de manera que solo permiten el paso de una estrecha banda de longitud de onda (400-700nm) reflejando el resto.

#### Motor Paso Paso

Es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control.

Para el análisis de materiales, se toma en cuenta la amplia gama de posibilidades que existen para diseñar una luminaria, dependiendo el tipo de espacio que se desea iluminar, así como los tratamientos que existen para cada superficie.



Reflector



Difusor



Spotlight

#### Materiales utilizados en luminarias

Los materiales de una luminaria se distinguen por la función que cumplen: mecánica, eléctrica u óptica. Los materiales comúnmente usados en artefactos de iluminación son aquellos con la terminación más estable y de buenas propiedades ópticas, entre ellos:

- Hierro en forma de chapas lisas o perforadas, plegadas o soldadas
- Aluminio en forma de perfiles o chapas plegadas o laminas
- Plásticos moldeados, extruidos o soplados
- Vidrioso planos o en forma de lentes
- Fibras ópticas para canalizaciones de hace de luz

#### Tratamiento para superficies de luminarias

##### Para aluminio

- Pulido: acabado que se logra mecánicamente a fin de aumentar la reflexión especular
- Anonizado: acabado químico consistente en crear una capa superficial de óxido de aluminio, cuya propiedad es incrementar la reflexión especular
- Abrillantado: acabado químico de oxidación superficial con la incorporación de compuestos brillantes que incrementa la reflexión especular
- Gofrado: acabado mecánico que confiere múltiples relieve convexos a la superficie, incrementando la reflexión difusa

##### Para plásticos y metales

Plateado, dorado, niquelado, cromado

##### Pintado

Orgánico: adecuado para interiores

Cerámico: de gran resistencia a los agentes atmosféricos

Abrillantado: acabado químico de oxidación superficial con la incorporación de compuestos brillantes que incrementa la reflexión especular

Gofrado: acabado mecánico que confiere múltiples relieve convexos a la superficie, incrementando la reflexión difusa

##### Para plásticos y metales

Plateado, dorado, niquelado, cromado

##### Pintado

Orgánico: adecuado para interiores

Cerámico: de gran resistencia a los agentes atmosféricos

## 2.1.4 Análisis del entorno

### CONDICIONES ADVERSAS DEL ENTORNO

#### insolación

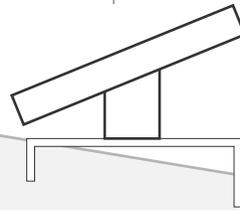
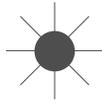
la luz del sol incide con mayor perpendicularidad en el trópico, por esto el desgaste de los materiales es mayor  
*carcasa, componentes ópticos, cable de fibra óptica*



#### lluvia y humedad

puede llegar a afectar el funcionamiento de los componentes internos del captador de luz

*componentes electrónicos, lentes*



#### viento

influye sobre el desempeño estructural del captador de luz

*carcasa y estructura del colector*

◀ SUR

NORTE ▶



#### cambios de temperatura

las variaciones de temperatura pueden incidir en el funcionamiento de algunos componentes del sistema.

*lentes, componentes electrónicos,*



**contaminación y suciedad**  
 pueden llegar a limitar la capacidad de captación de luz.

*cubiertas, superficie de las lentes, componentes electrónicos, terminales de fibra óptica*

### CONDICIONES FAVORABLES DEL ENTORNO

#### espacio de instalación

el espacio disponible para instalación del sistema es adecuado.

#### alrededores el edificio

hay pocas obstrucciones para la luz alrededor del edificio

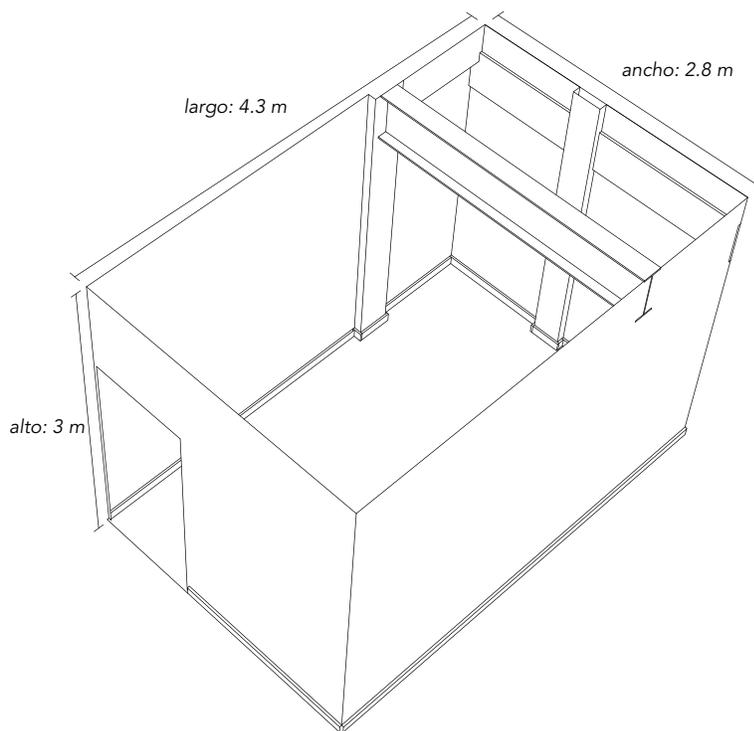
#### alineación del edificio

el edificio está alineado con los puntos cardinales norte y sur. La inclinación del techo del edificio coincide con el punto cardinal norte.

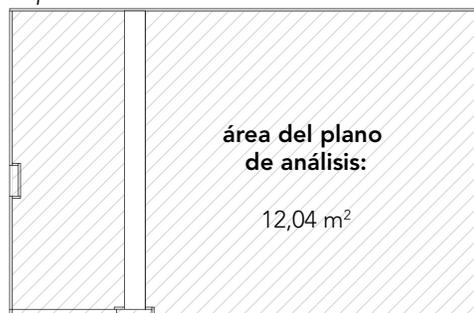
#### altura de la instalación

la altura a la que se instala el sistema es adecuada para transporte de luz con medios como fibra óptica

## Espacio interno



Superior

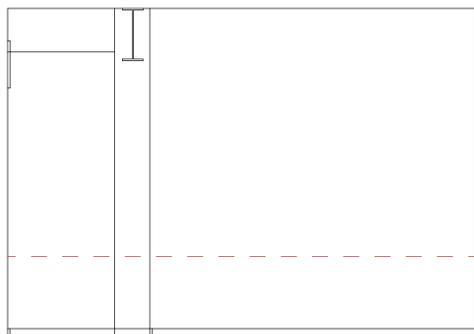


Características  
la iluminación natural que  
recibe es nula

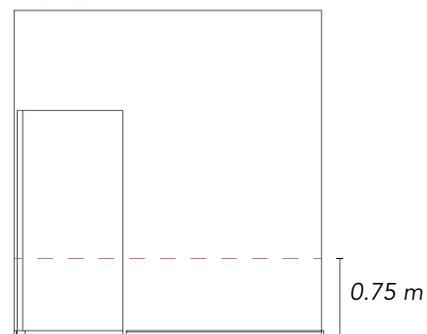
el cielo raso es de paneles  
desmontables

la altura del plano de  
análisis para la iluminancia  
es 0.75 m

Lateral F

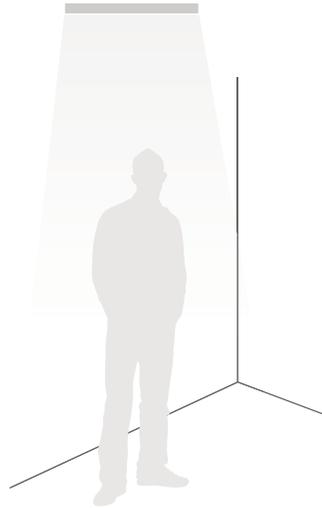


Frontal



## 2.1.5 Análisis de usuario

La interacción está definida por los dos tipos de usuario anteriormente mencionados, a los cuales denominaremos usuario1 al del espacio interno y usuario2 al personal de mantenimiento e instalación.



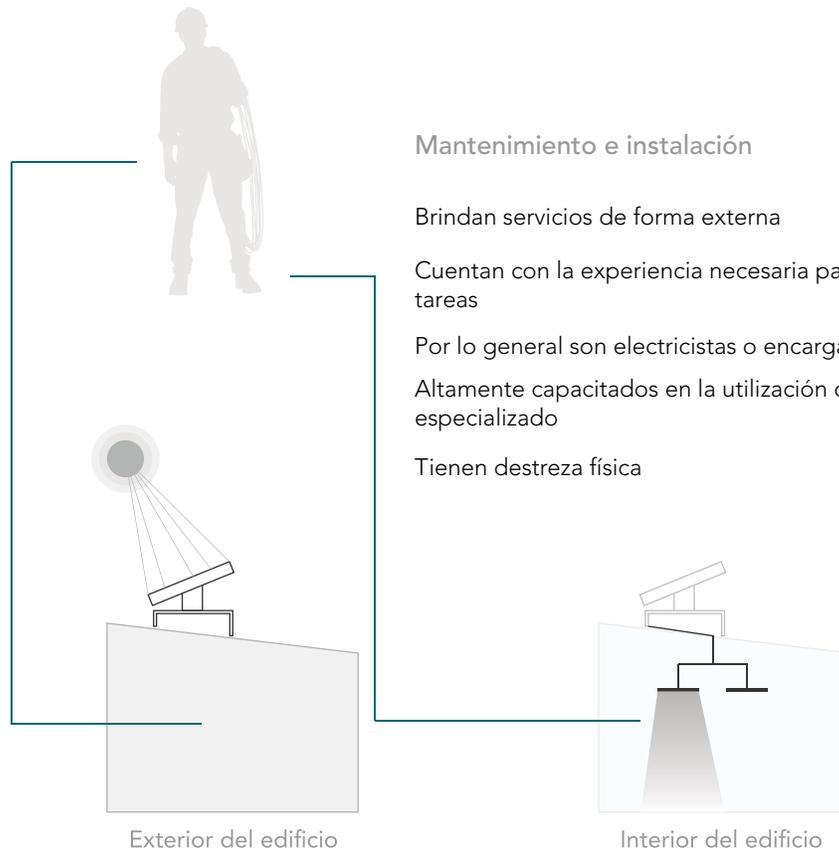
### Usuario del espacio interno

Se relacionan solo de forma indirecta con el sistema

Depende del adecuado funcionamiento del sistema para ejecutar sus tareas

Desconoce como funciona el sistema

En caso de fallo del sistema depende del personal de mantenimiento para solucionarlo



### Mantenimiento e instalación

Brindan servicios de forma externa

Cuentan con la experiencia necesaria para ejecutar las tareas

Por lo general son electricistas o encargados de aseo

Altamente capacitados en la utilización de equipo especializado

Tienen destreza física

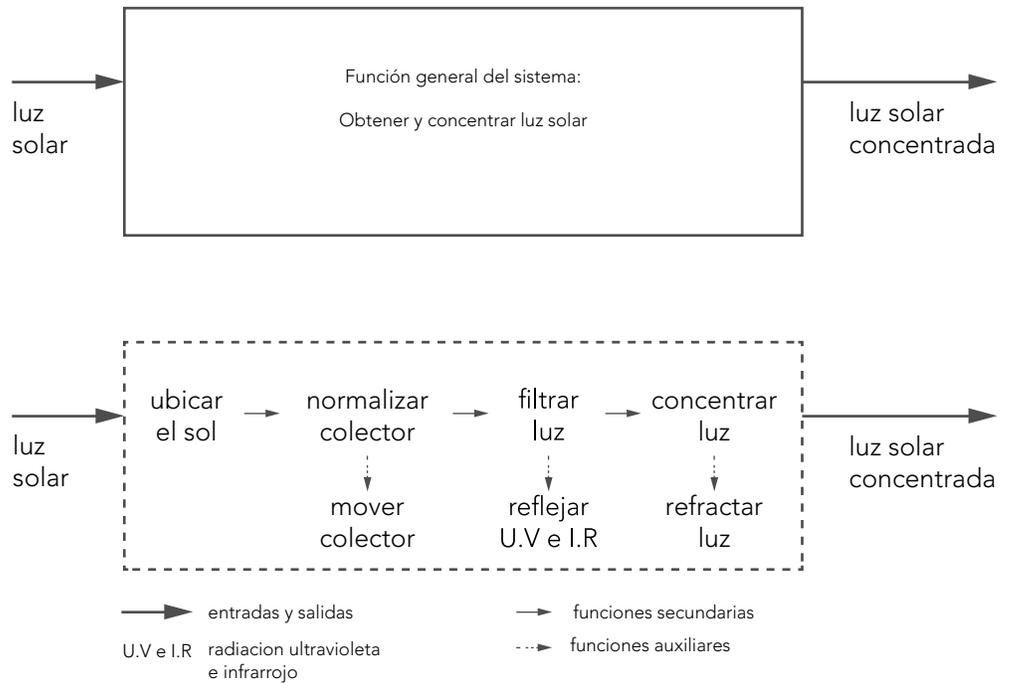
Exterior del edificio

Interior del edificio

## 2.1.6 Análisis de funciones

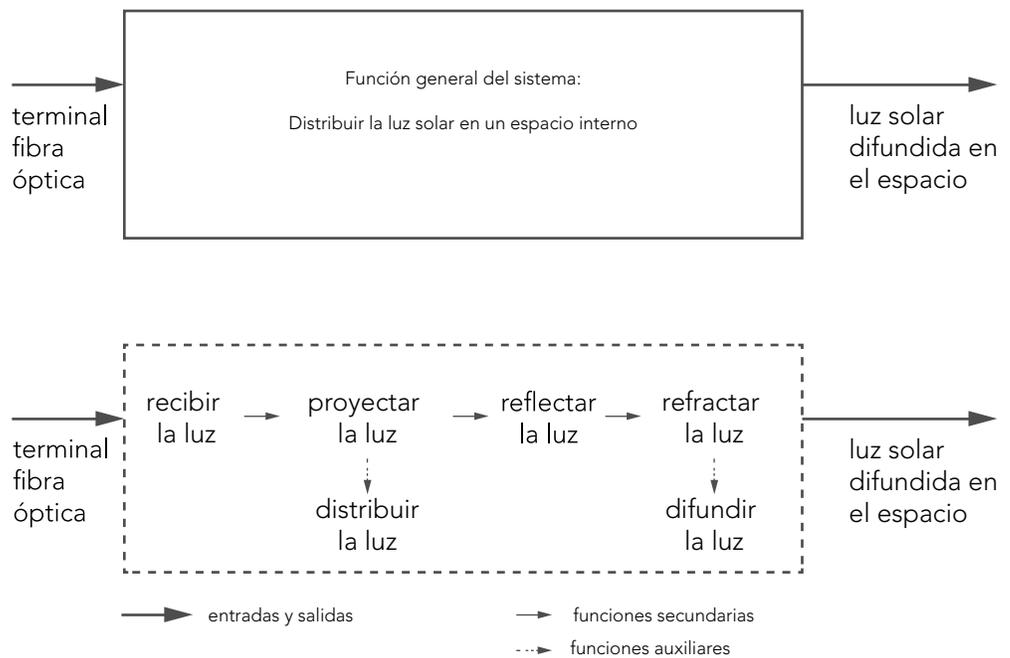
### 2.1.6.1 Sistema colector

Fig. 22. Diagrama de funciones del colector solar



### 2.1.6.2 Sistema distribuidor

Fig. 23. Diagrama de funciones del distribuidor de luz



## 2.1.7 Análisis perceptual

### 2.1.7.1 Vocabulario Visual

La siguiente colección de imágenes muestra de manera general la cromática utilizada principalmente en equipos altamente tecnológicos que se utilizan en proce de energía.

Imagen 9. Colección de imágenes



## 2.1.7. 2 Ejes Semánticos

Fig. 24. Eje semántico



## Caracterización tecnológico/simple

- Se denotó la frase semiótica bajo el cuadrante tecnológico|simple. Según estos ejes se puede observar que los objetos tienden a lo simple de la forma y detalles.
- Predominan las formas planas y cuadradas, dejando de lado lo orgánico.
- En cuanto a materiales, se observa la utilización de resinas poliméricas con acabados mate y metales brillantes, si como la utilización de acrílicos y cristales como materiales de fabricación.
- En cuanto a la composición cromática, se utilizan colores planos en tonalidades vibrantes y brillantes, así como esmaltados y metálicos, aprovechando la estética del material.

### 2.1.7. 3 Síntesis Cromática

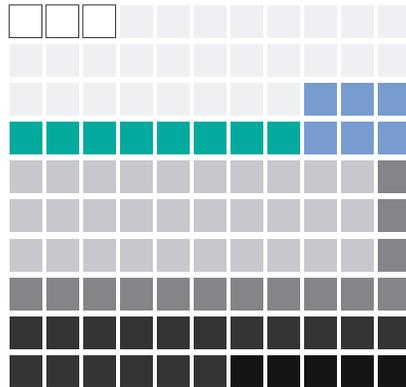


En general predomina el uso de colores neutros como el negro y los tonos de grises, al igual que el blanco generando la cromática general del objeto, conservando en la mayoría de los casos el color del material del que está compuesto, como es el caso de los metálicos.

Por otro lado encontramos realce de los detalles en otros tonos como verdes o cian, para realzar algún detalle del producto.

Se hace referencia a la armonía, donde los colores saturados de baja luminosidad se convinan para crear productos que no contaminen visualmente su entorno de uso. Haciendo referencia a materiales como vidrio o acrílico.

### Matriz Cromática



El producto final deberá utilizar la matriz cromática adjunta, que sintetiza el análisis cromático.

### 2.1.8 Síntesis de análisis

A continuación se presenta una síntesis de los análisis realizados, necesaria para la generación del concepto.

**Sistema de Iluminación natural**  
 captar la luz del sol, introducirla y distribuirla en el espacio interno de un edificio

Entorno		
Edificios	——— 2 ó más pisos el sistema está dividido en exterior e interior del edificio de un edificio	——— exterior interior
Usuario	——— 2 tipos: usuario del espacio interno y personal de mantenimiento	
Materiales	——— materiales disímiles, acero inoxidable para carcasa y componentes. Debe soportar condiciones del exterior	
Componentes	——— motor, filtro, lentes, empaques, fibra óptica, difusores	
Subsistemas	——— -captador de la luz (sistema de seguimiento del sol) -medio de transporte de la luz (fibra óptica) -distribuidor de la luz en el espacio interno (luminaria)	
Cromática	——— se conserva el color del material, utilización de color para realce de partes	

## 2.2 Fundamentos utilizados para el diseño

### 2.2.1 Especificaciones de rendimiento

El interior del edificio:

Altura del plano de análisis: 75 cm  
Dimensiones del cuarto: 4,3 x 2,8 m  
Area del plano a iluminar: 12,04 m<sup>2</sup>  
Iluminancia: 300 lx  
Flujo luminoso: 3675 lm  
Tipo de iluminación: difusa

Fibra óptica:

Tipo fibra óptica: multimodo 100-200 micrones

Costo meta: \$10.000

### 2.2.2 Requerimientos de diseño

El sistema debe seguir la trayectoria del sol  
Debe resistir las condiciones del entorno  
Se plantea una disminución de costos  
Debe instalarse de modo que se aproveche el espacio del edificio  
El sistema debe construirse en el país

## 2.3 Definición del concepto

El Sistema de Iluminación Natural, según el análisis previo está dentro de la categoría tecnológico/simple, y para ello a continuación se presenta la definición conceptual de los diferentes componentes que conforman cada subsistema.

Tabla 7. Concepto de diseño

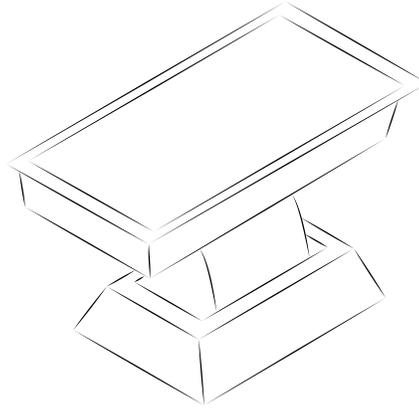
Sistema	Características conceptuales
Colector	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mecanismo de seguimiento diario del sol</li> <li>- mecanismo de movimiento anual del sol</li> <li>- motor</li> <li>- filtro</li> <li>- lentes fresnel</li> <li>- conectores de fibra óptica</li> </ul>
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fibra óptica</li> <li>- tipo: multimodo de 3mm</li> <li>- doblés máximo permitido de la fibra: 20 veces su diámetro</li> </ul>
Distribuidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- difusor</li> <li>- terminal fibra óptica</li> <li>- sujetores de fibra óptica</li> <li>- posibilidad de combinación con LED</li> <li>- reflector</li> </ul>

## 2.4 Desarrollo de alternativas

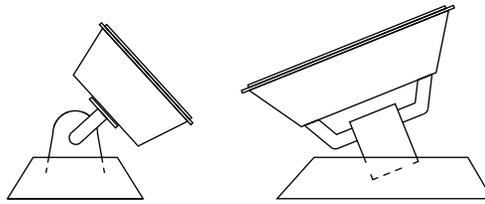
### 2.4.1 Propuestas de colector de luz solar

#### Propuesta 1

#### Descripción

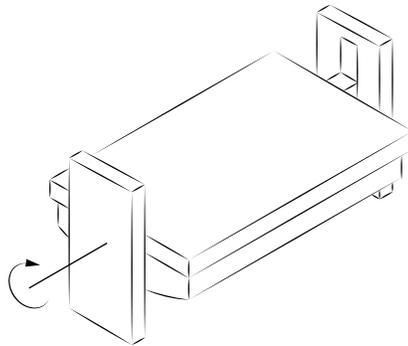


El sistema está compuesto por un brazo que sostiene el colector y permite realizar el movimiento diario de seguimiento del sol, este a su vez es desplazado por la base que realiza el movimiento norte-sur, mismo que realiza anualmente el sol.

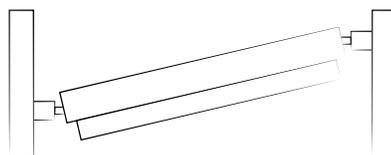


#### Propuesta 2

#### Descripción

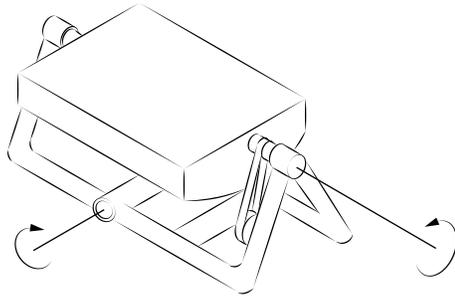


Este sistema tiene dos bases verticales que permite que el colector suba o baje de cada uno de los lados, logrando seguir el movimiento anual del sol, mientras que el movimiento diario lo realiza girando sobre su propio eje.

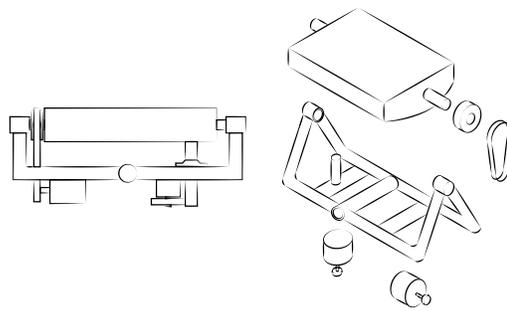


## Propuesta 3

## Descripción

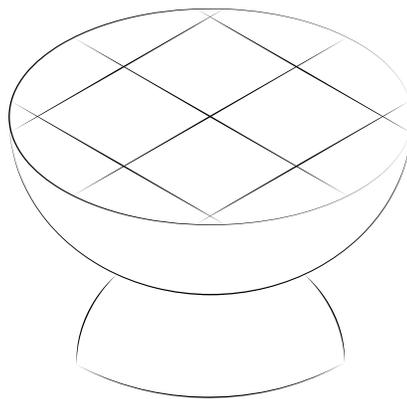


La propuesta 3 está montada sobre una estructura base que gira sobre un eje central movimiento todo el sistema y realizando el movimiento norte-sur, mientras que el movimiento diario lo realiza el colector girando sobre su propio eje.



## Propuesta 4

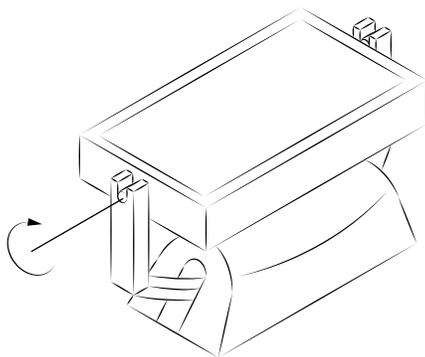
## Descripción



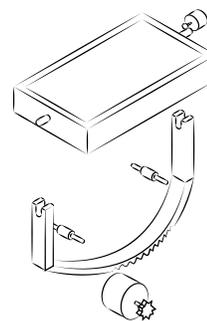
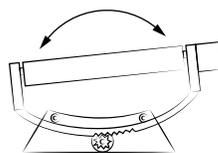
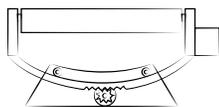
Este sistema está conformado del colector de base esférica, mientras que la base del sistema es la forma contrapuesta de la esfera, por lo que realiza tanto el movimiento diario como anual al mismo tiempo, girando sobre la base en todas direcciones, este efecto se logra apartir de la esfera.

## Propuesta 5

## Descripción

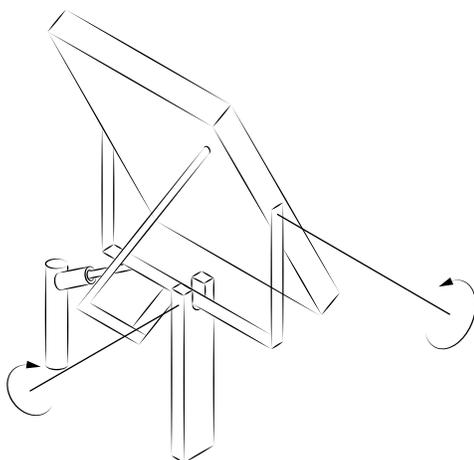


En esta propuesta el colector está montado sobre un brazo, este se desplaza dentro de la base por medio de su foma circular, permitiendole obtener diferentes alturas, logrando así el movimiento anual. Mientras que el movimiento diario lo realiza el colector girando sobre su propio eje.



## Propuesta 6

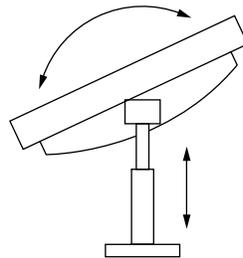
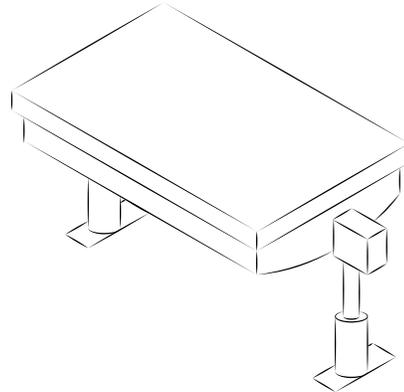
## Descripción



El sistema está compuesto de una base que le brinda cierta altura al colector, con esto un brazo sirve de soporte para el colector. Desde el punto central de la base el sistema gira de norte-sur. De igual manera el colector gira de este-oeste a través del movimiento de su propio eje.

## Propuesta 7

## Descripción



La propuesta 7 posee 2 eje hidráulicos verticales, estos le dan la altura necesaria a cada lado, tanto como sea necesario ara poder lograr el movimiento anual. Mientras que para el movimiento diario el colector gira sobre su propio eje.

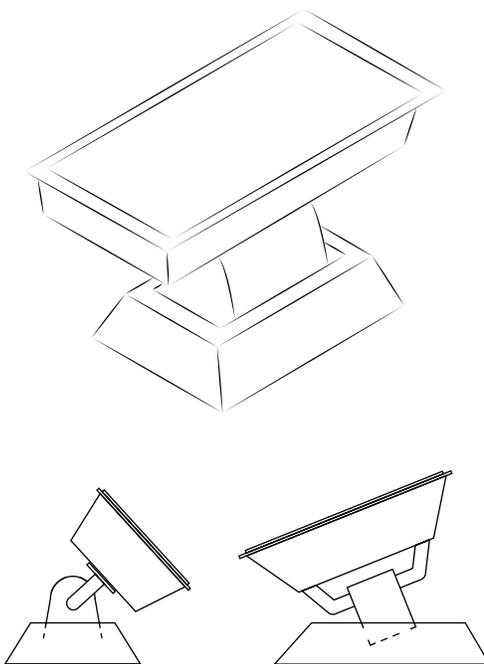
## Matriz de selección

Peso relativo	Criterios de selección	Alternativas													
		1		2		3		4		5		6		7	
10	Posibilidad de fabricación a nivel nacional	4	40	4	40	4	40	2	20	2	20	4	40	4	40
8	Precisión del seguimiento del sol	3	24	2	16	2	16	2	16	3	24	4	32	2	16
6	Bajo costo de fabricación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Resistencia a las condiciones de entorno externo	3	9	2	6	3	9	2	6	3	9	1	3	4	12
1	Disposición optima de los componentes	4	4	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	4	4
		77		64		67		45		56		76		72	

Tabla 8. Matriz de selección de propuesta

## Propuesta seleccionada

Según la matriz de selección, la propuesta que mejor cumple con los criterios de selección es la propuesta 1. Dado que maneja la posibilidad de fabricarse en el país y los componentes que sean necesarios adquirir fuera del país son accesibles. Además presenta las mejores características de seguimiento del movimiento solar, resistencia y una configuración apropiada para el entorno de uso.



## 2.4.2 Cambios posteriores a la propuesta

Los siguientes aspectos debieron ser contemplados en el proceso de generar la propuesta final para lograr un sistema completo que cumpliera con las especificaciones y requisitos de diseño.

Información generada por el ingeniero Jose Luis León, Escuela de Materiales del Tecnológico de Costa Rica.

- Utilizar fotoceldas para medir el nivel de iluminancia disponible
- Considerar el peso que debía soportar el colector, en dado caso de ser necesario utilizar un freno, lo que generaría una demanda de energía extra.
- Recomendación de acero inoxidable para el colector en lugar de aluminio.
- Cambiar el datalogger planteado en un principio para la recopilación de los datos del sistema.
- Tomar en cuenta el radio de curvatura de la fibra para el momento de la instalación en el sistema.

### 2.4.3 Mediciones realizadas a luminarias existentes

Dado que el fin de la investigación es hacer mediciones de la cantidad de luz que se obtiene al final de la fibra óptica, el diseño del sistema de distribución se basa, más que en un diseño estético, en un diseño funcional. Para esto se hace un análisis de luminarias y su rendimiento en el software DIALUX EVO, para tomar como referencia los resultados y basarnos en el modo de distribución de la luz que estas utilizan.

Para cada uno de los casos, se presenta el área que se desea iluminar y se hace una proyección de un plano a 75cm del piso para ver el rendimiento de cada luminaria.

#### Caso 1.

Imagen 10. Simulación del espacio interno 1

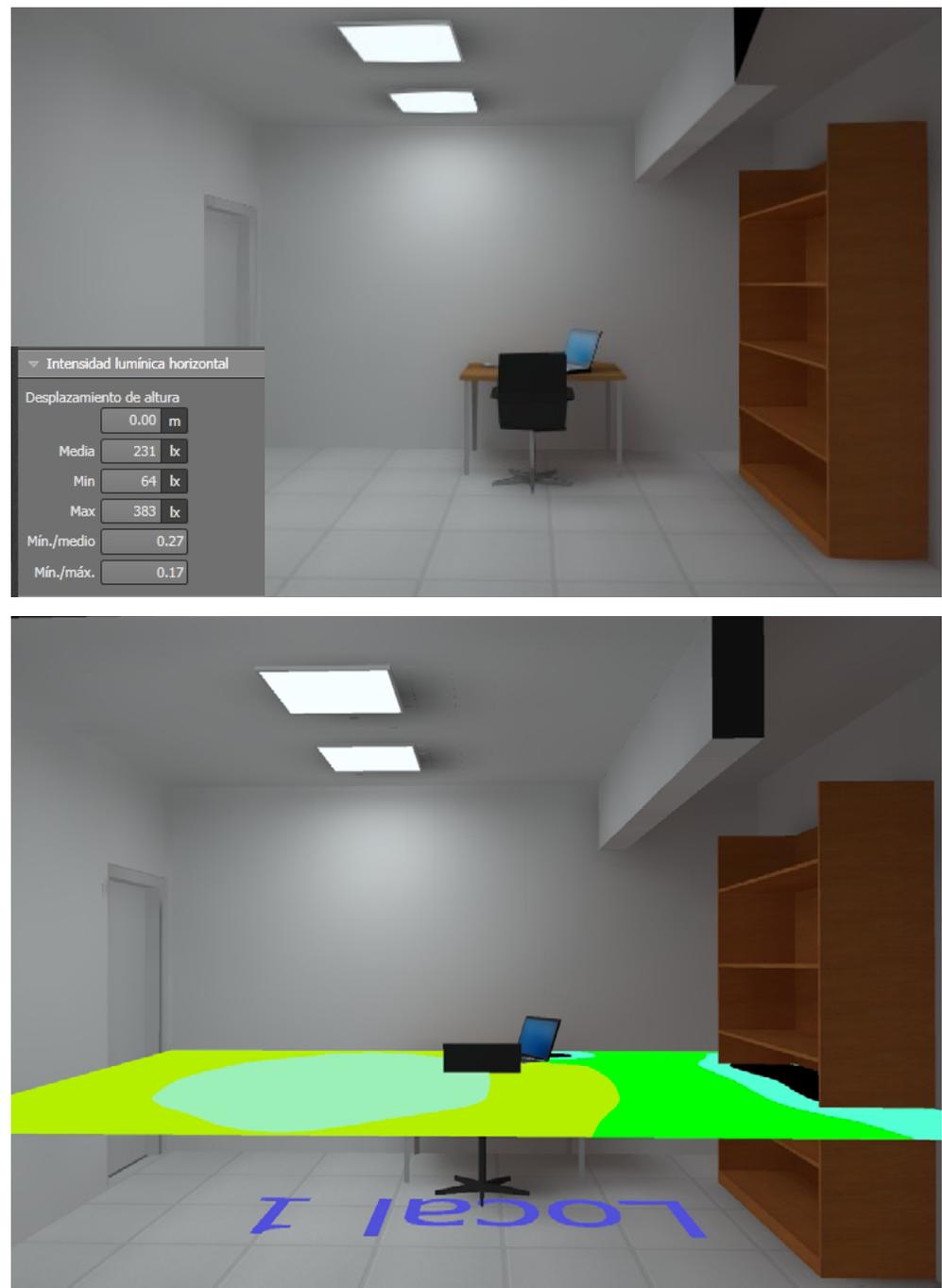


Imagen 11. Simulación del espacio interno 2

### Caso 2.

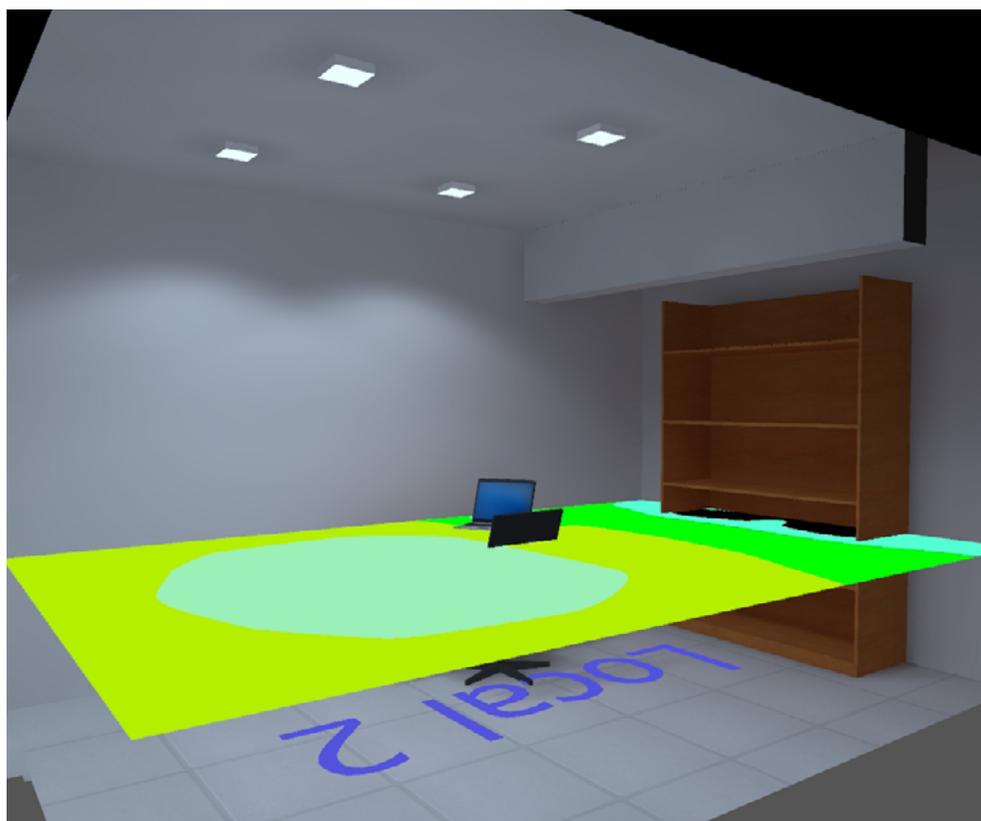
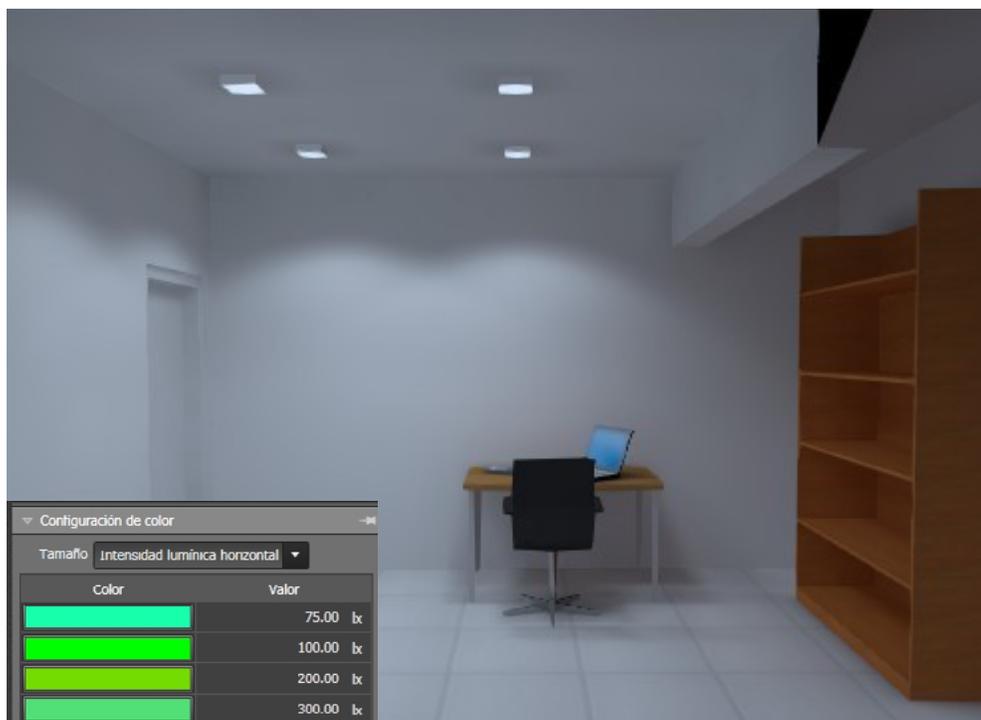


Imagen 12. Simulación del espacio interno 3

### Caso 3.

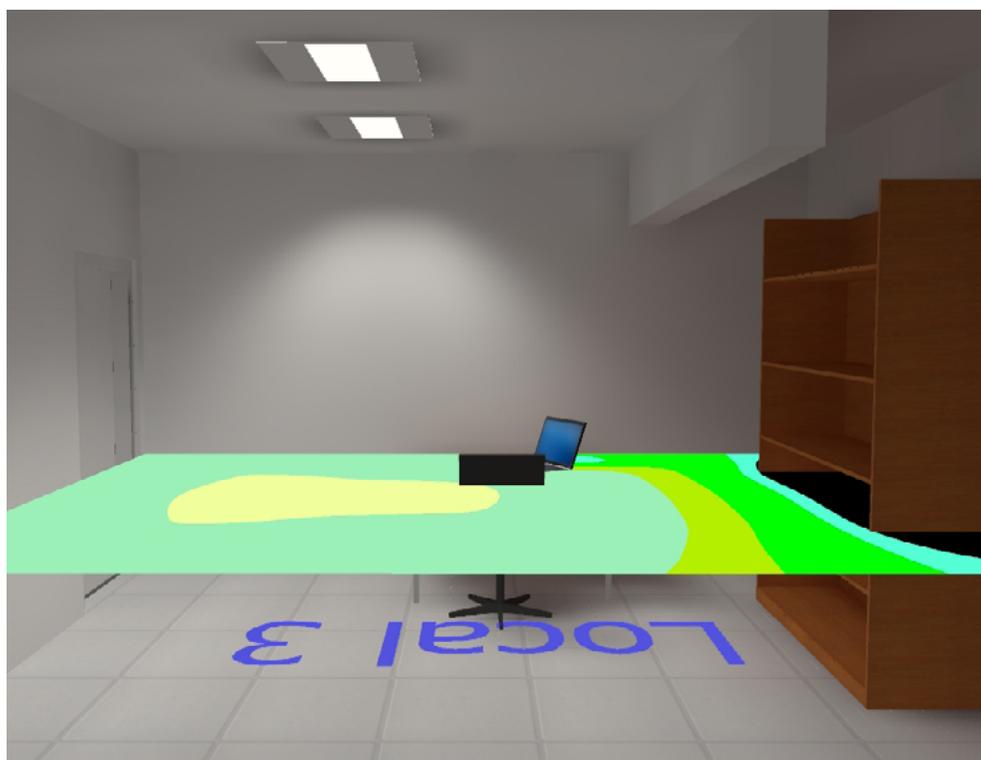
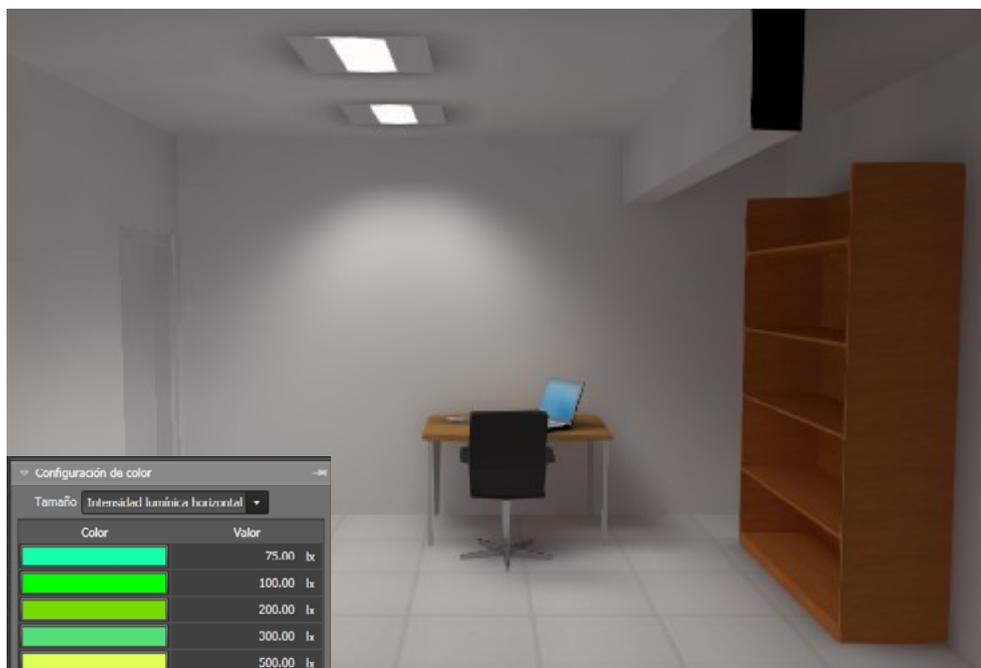


Imagen 13. Simulación del espacio interno 4

#### Caso 4.

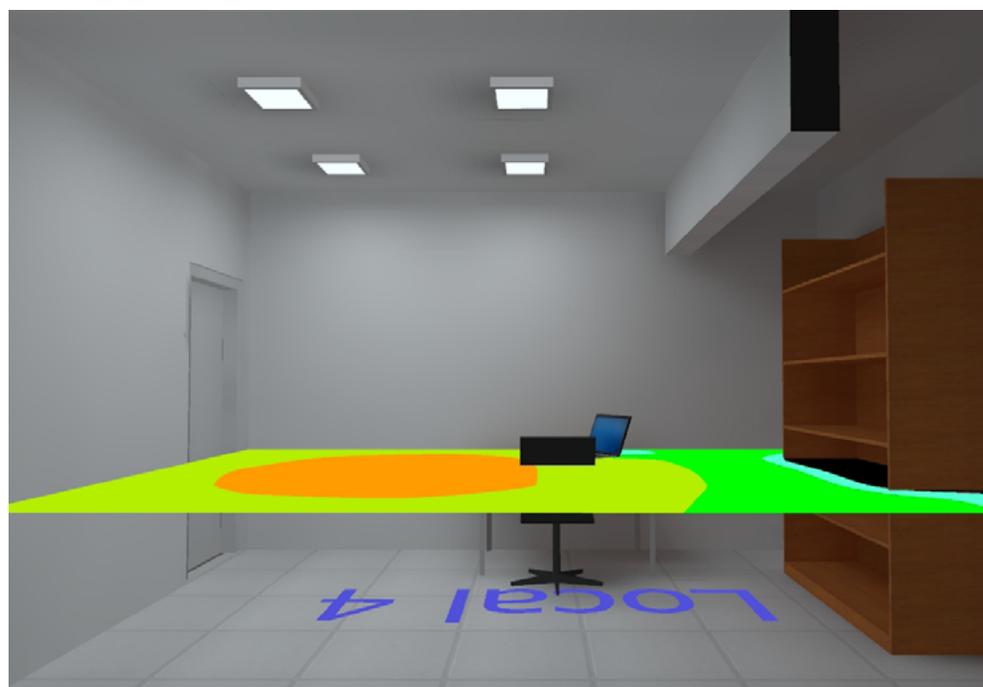
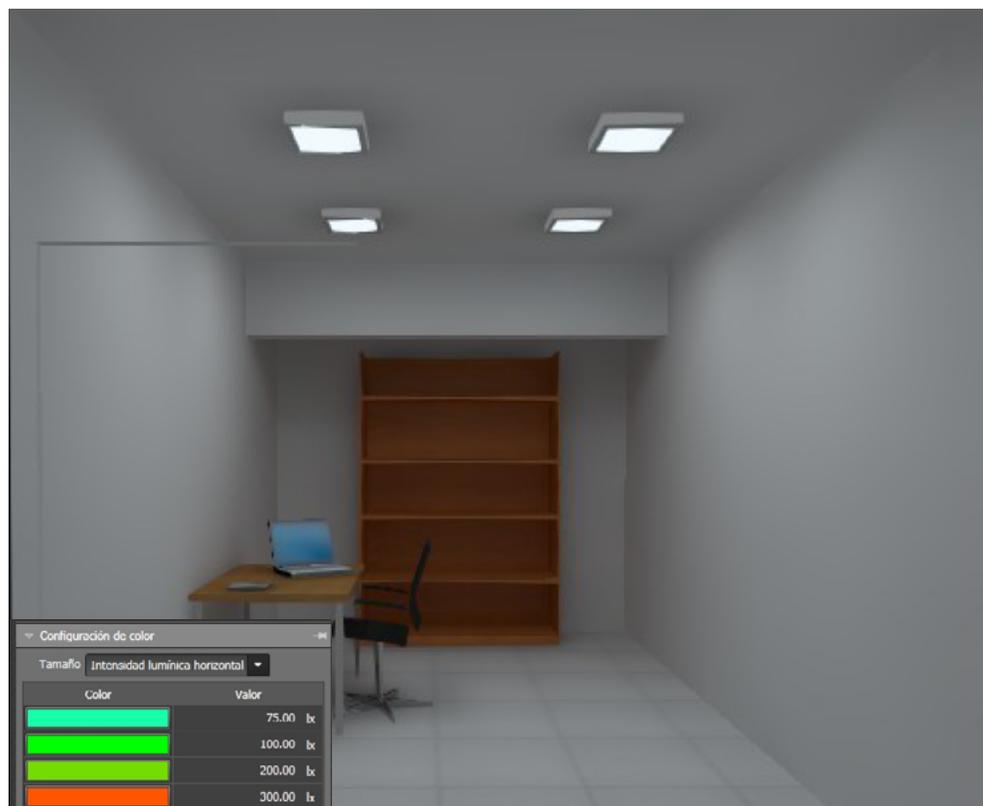


Imagen 14. Simulación del espacio interno 5

### Caso 5.

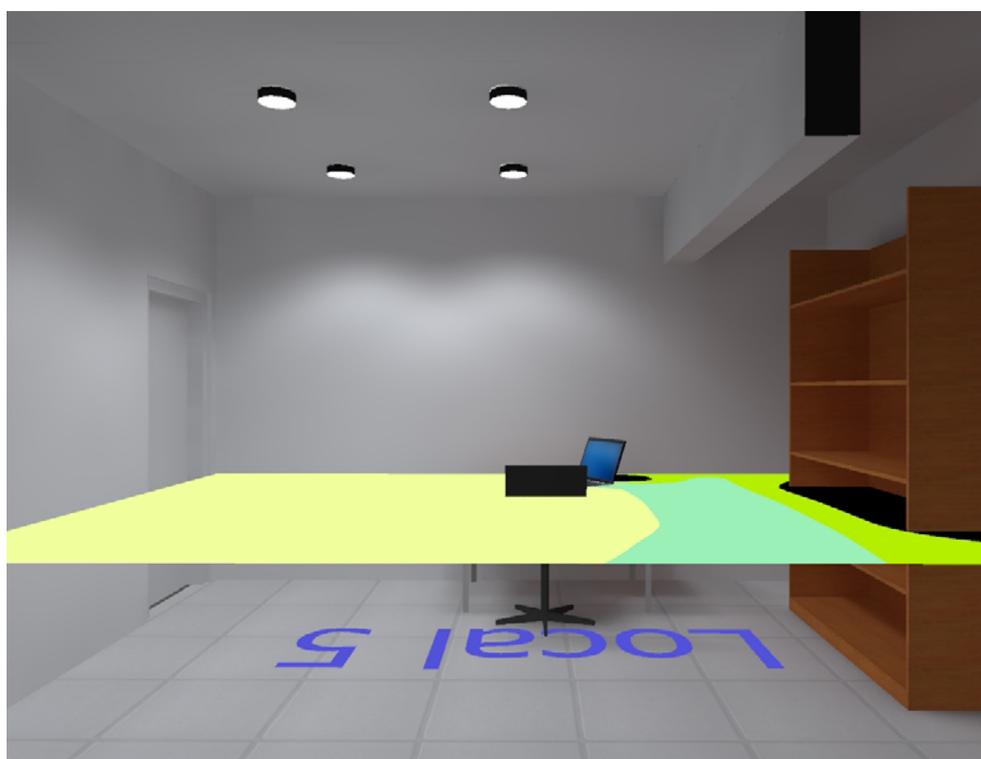


Imagen 15. Simulación del espacio interno 6

Caso 6.

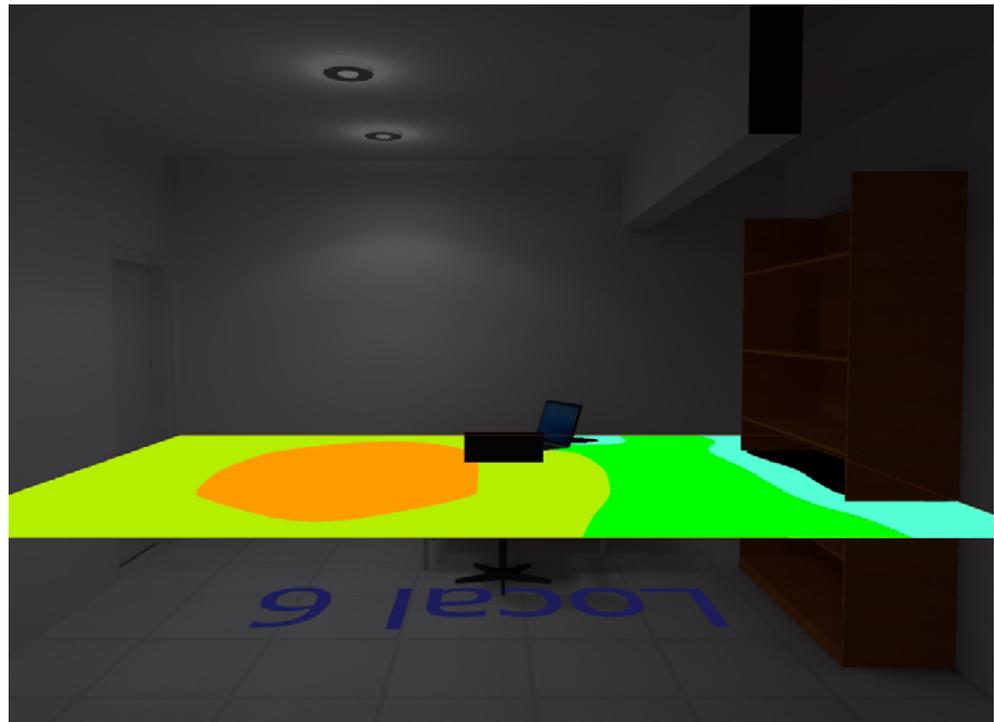
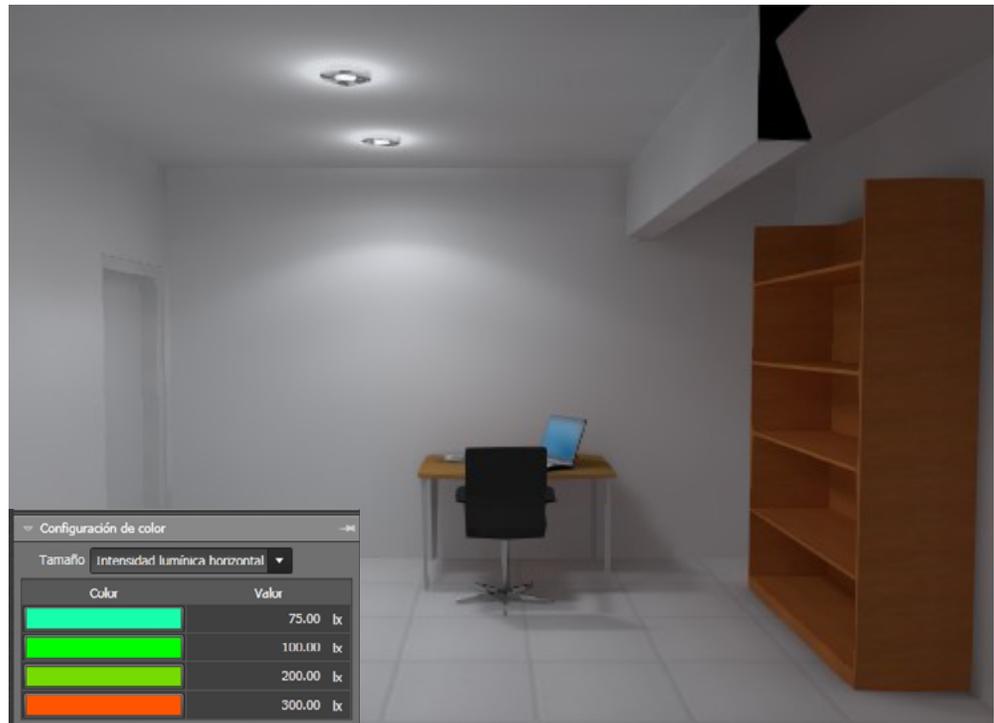


Imagen 16. Simulación del espacio interno 7

### Caso 7.

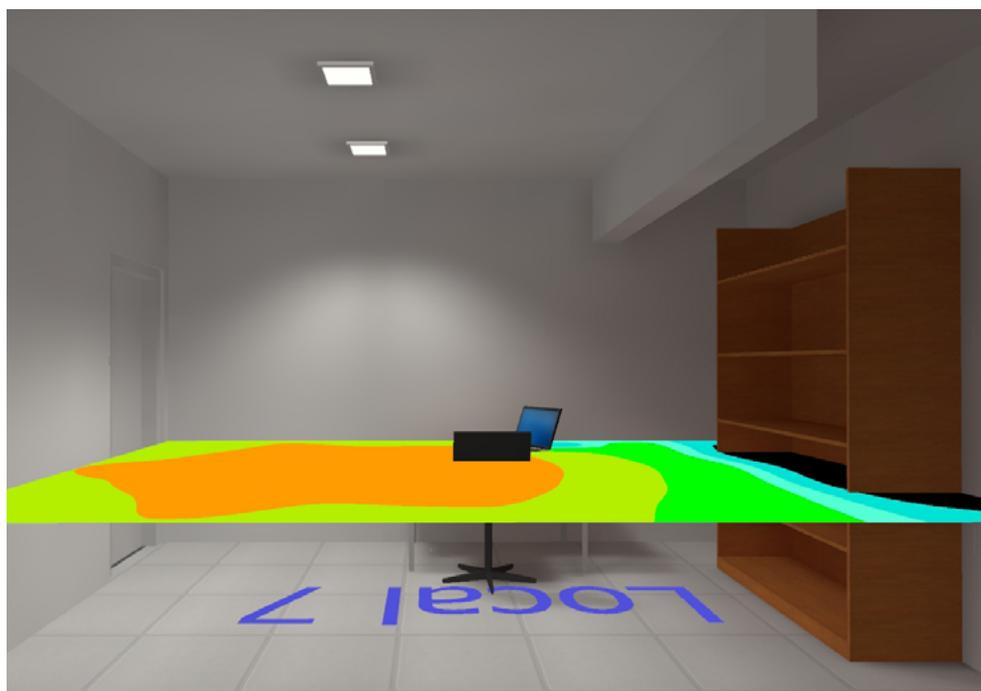
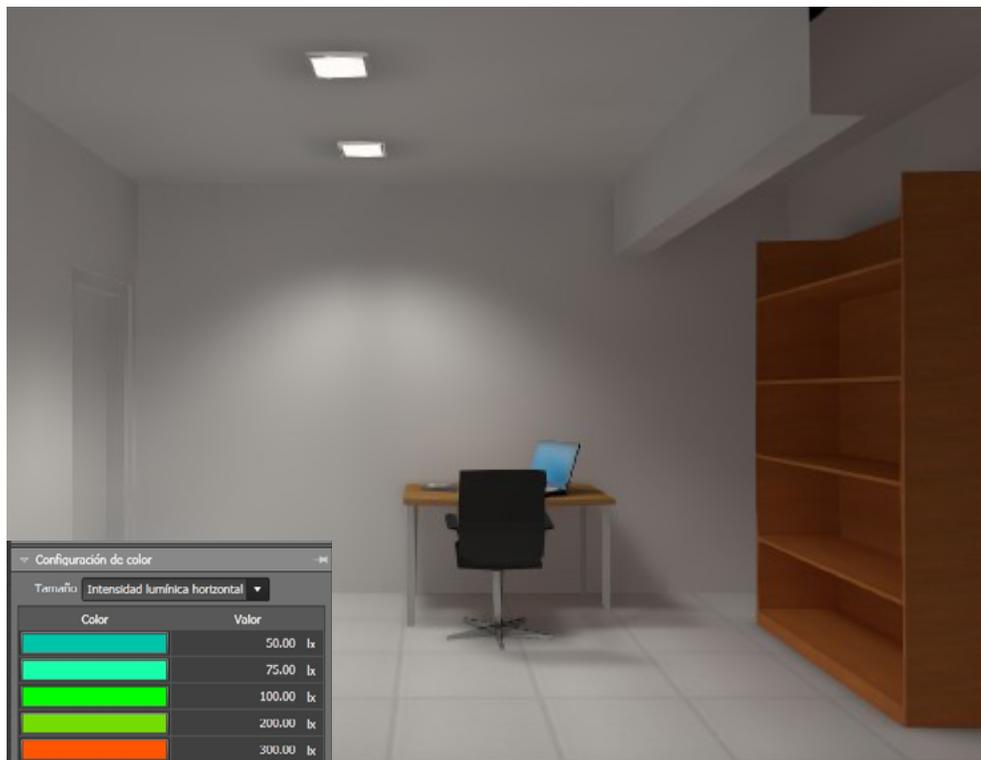


Imagen 17. Simulación del espacio interno 8

### Caso 8.

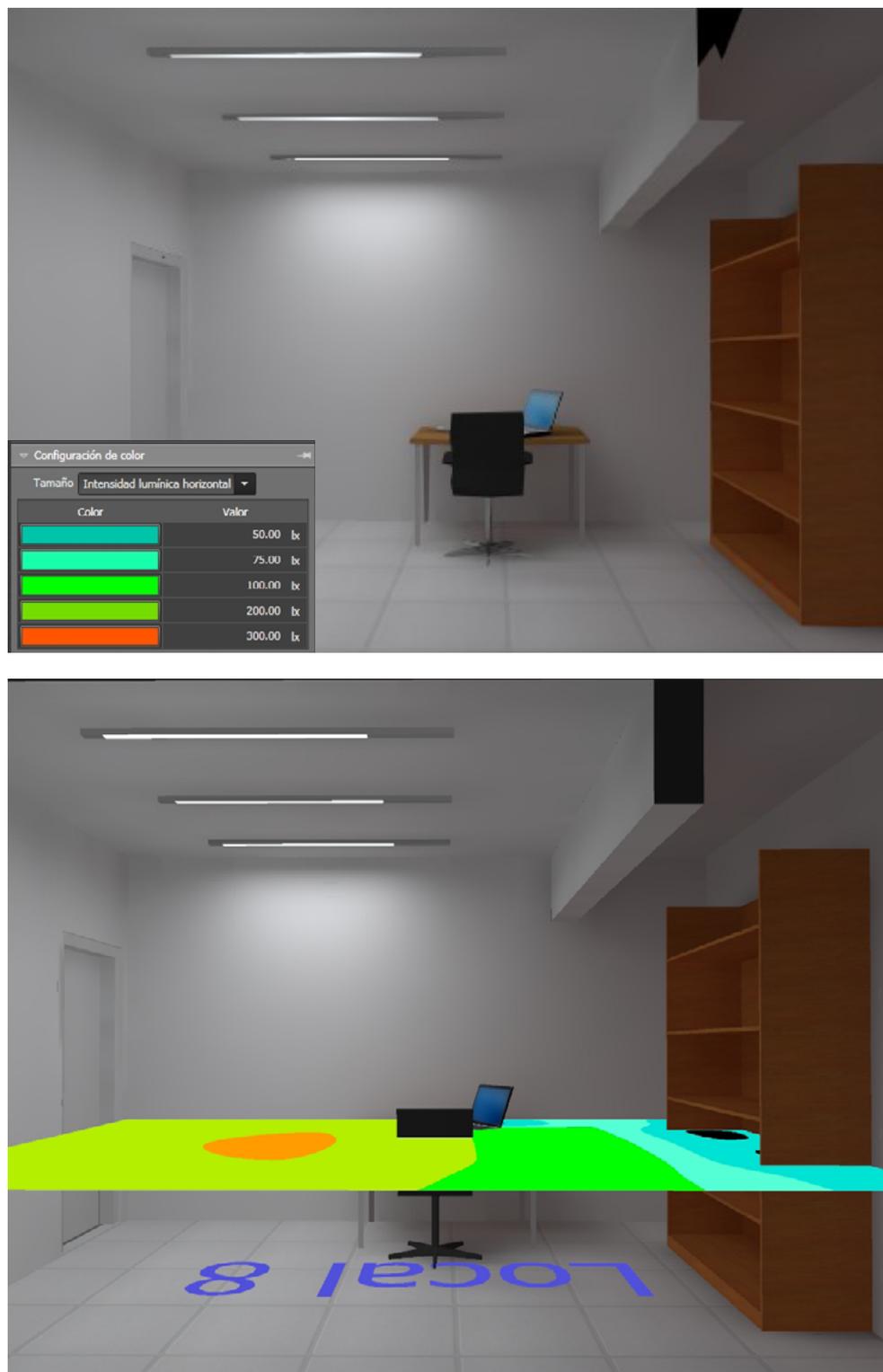


Tabla 9. Síntesis de análisis de espacio interno

### Síntesis del Análisis

Planta	Cant. luminarias	Tipo	Lux Media	% lux deseados
1	2	cuadrada	231	30
2	4	cuadrada	232	40
3	2	rectangular	339	70
4	4	cuadrada	229	20
5	4	rectangular	477	80
6	2	rectangular	216	15
7	2	cuadrada	241	40
8	3	rectangular	140	5

### Conclusiones

Para el análisis de las luminarias se consideró un flujo luminoso de 3675 Lm, mismo requerido en el sistema de iluminación natural para lograr una luminancia de 300 lx a 75 cm del piso, con el fin de tener un punto de partida entre sistemas de distribución de la luz existentes y el propuesto. El modelo de mejor rendimiento es de la empresa Havells Sylvania, esta posee un reflector empotrado de forma rectangular y utiliza un difusor como medio para distribuir la luz, misma que está concentrada en un solo punto.

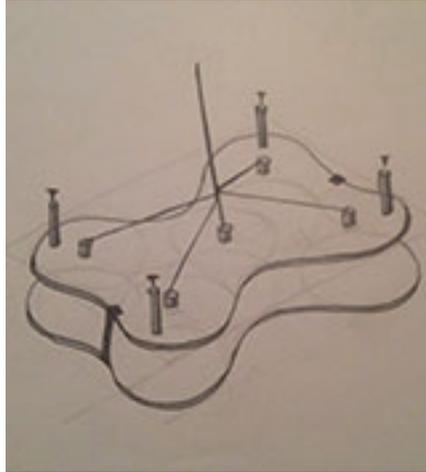
Imagen 17. Simulación del espacio interno seleccionada como referencia



## 2.4.4 Propuestas de luminarias

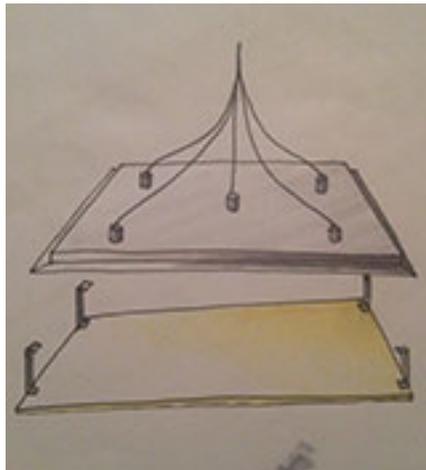
### Propuesta 1

Consiste en una carcasa plana que contiene las fibras ópticas y un difusor como medio distribuidor de la luz



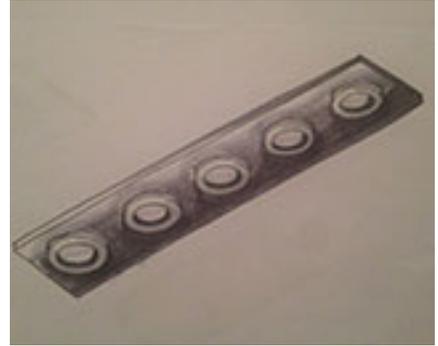
### Propuesta 3

La carcasa de la luminaria sirve de reflector y a la vez se empotra en el cielo. Utiliza un difusor.



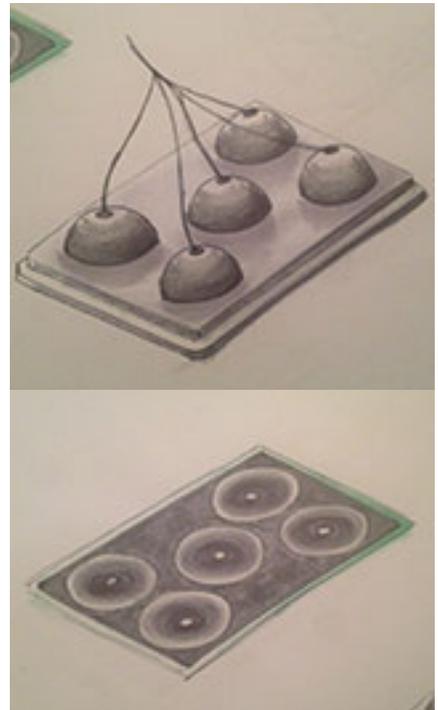
### Propuesta 2

Se utiliza la distribución de cinco spotlights, cada uno con reflector al interior, distribución rectangular para distribuir la luz en el espacio



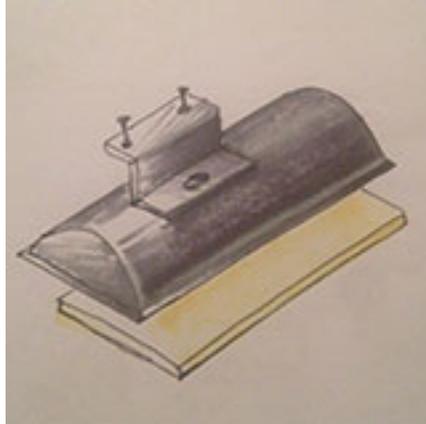
### Propuesta 4

Configuración de cinco spotlights empotrados, utiliza difusores individuales para cada punto de luz.



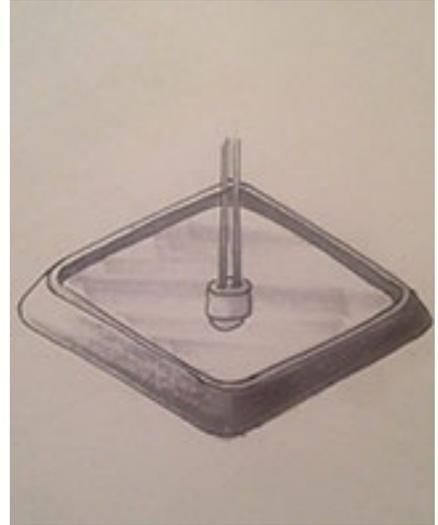
## Propuesta 5

Utilización de un reflector empotrado de forma ovalada, con la luz centrada en un mismo punto y utiliza un difusor.



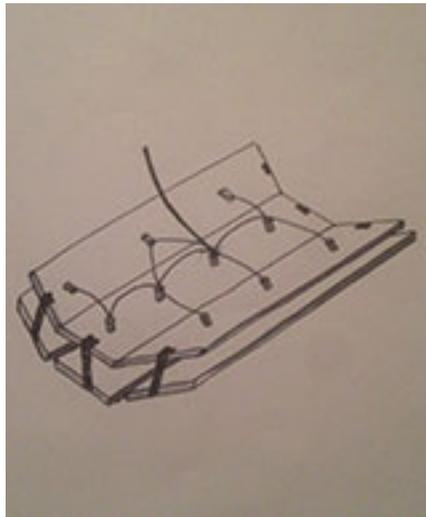
## Propuesta 6

Utilización de un difusor redondeado para aprovechar toda la luz emitida por las fibras que son colocadas en un mismo punto, basándose en el funcionamiento de un LED



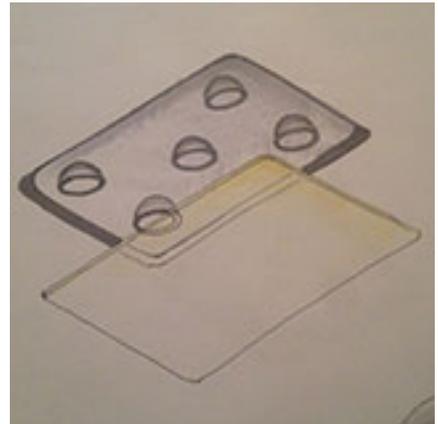
## Propuesta 7

Se anguliza la forma de la luminaria para lograr una mayor apertura de la luz, las fibras se colocan individualmente y utiliza 3 difusores.



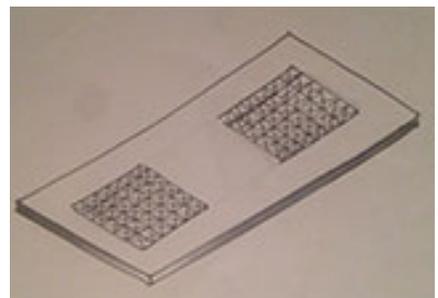
## Propuesta 8

Se anguliza la forma de la luminaria para lograr una mayor apertura de la luz, las fibras se colocan individualmente y utiliza 3 difusores.



## Propuesta 9

utilización de un difusor con centros de prismas para lograr una mejor distribución de la luz.



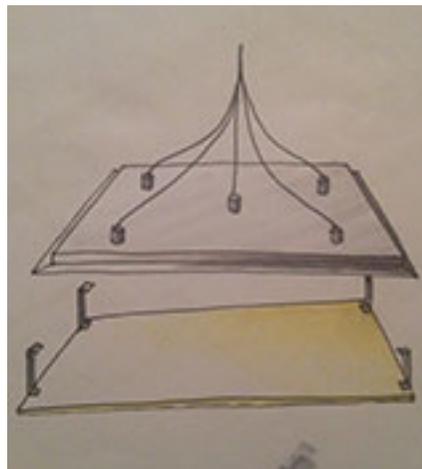
## Matriz de selección

Peso relativo	Criterios de selección	Alternativas																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9									
10	Permite una buena difusión de la luz	5	50	7	70	8	80	4	40	6	60	5	50	5	50	4	40	6	60
8	Eficiencia en el uso de la luz	6	48	5	40	7	56	6	48	7	56	6	48	6	48	6	48	5	40
6	Evita el deslumbramiento	4	24	3	18	8	48	4	24	8	48	4	24	4	24	5	30	2	12
7	Evita techos negros	7	49	4	28	7	49	6	43	5	35	7	49	7	49	7	49	7	49
6	Posibilidad de fabricación nacional	4	24	2	12	8	48	4	24	2	12	4	24	4	24	3	18	4	24
1	Se adapta a las dimensiones del espacio	2	2	5	5	9	9	5	5	1	1	2	2	3	3	1	1	4	4
		197		173		290		184		212		197		198		189		189	

Tabla 10. Matriz de selección de propuesta

## Propuesta seleccionada

Según la matriz de selección y el análisis de rendimiento hecho a las luminarias existentes, el tipo de sistema de distribución o luminaria, es la propuesta 3. Esta conclusión y el análisis realizado a el rendimiento de luminarias existentes, arroja que la luminaria debe ser empotrada y rectangular, utilizando un difusor para poder distribuir de mejor manera la luz natural disponible en el espacio.



### 3. Propuesta final

ecolux  
Sistema de Iluminación Natural



### 3.1 Colector de luz solar

Sistema de seguimiento del movimiento del sol. Movimiento dado en dos direcciones: este-oeste movimiento diario y norte-sur que corresponde al movimiento anual. ECOLUX. Principio

La luz solar es capturada desde el techo en el exterior del edificio. La fibra óptica se utiliza como medio para introducir en los ambientes internos del edificio la luz natural proveniente del sol.

ecolux

### 3.1.1 Sistema colector de la luz solar

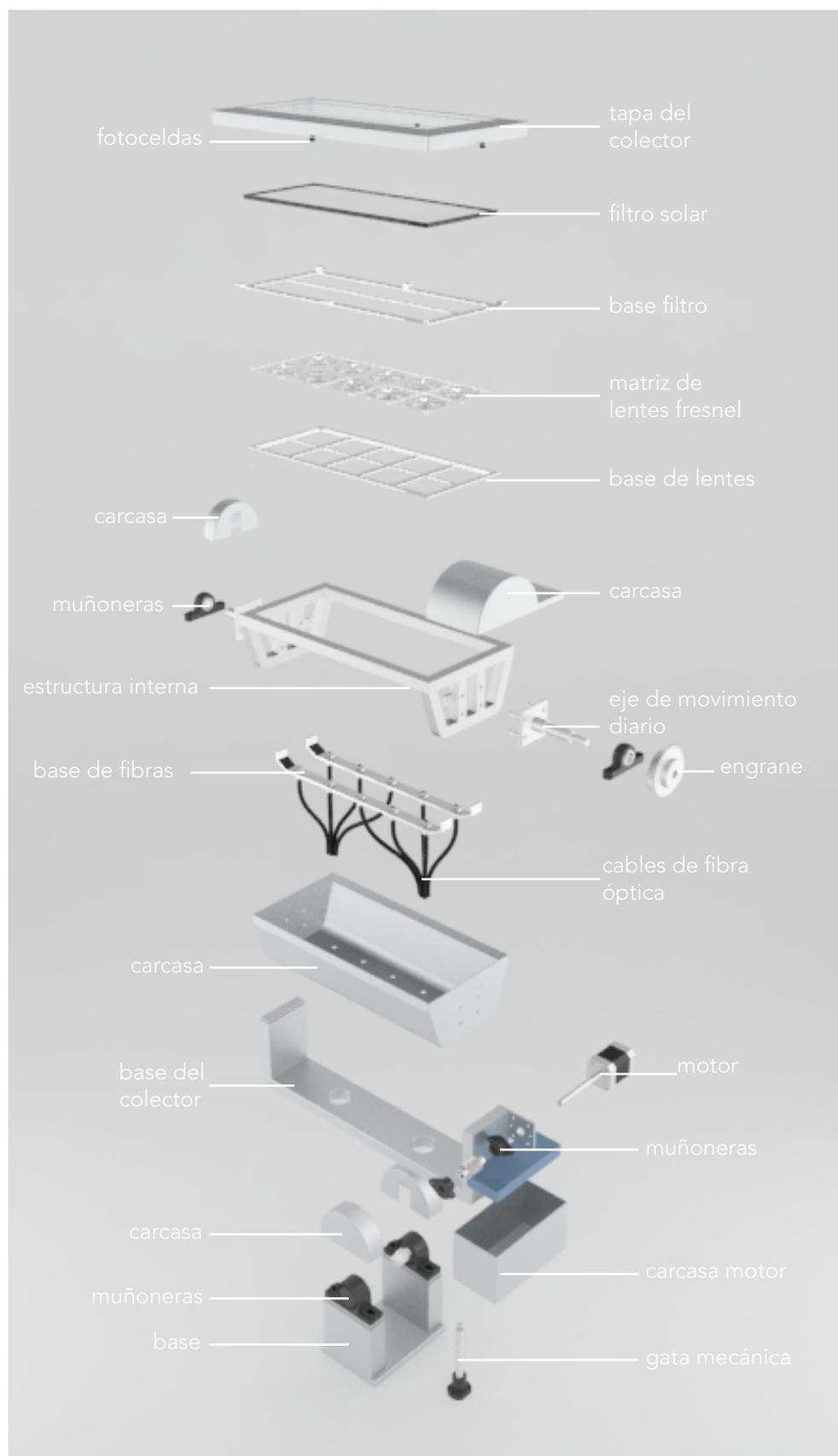
Imagen 18. Propuesta final del sistema colector



ecolux

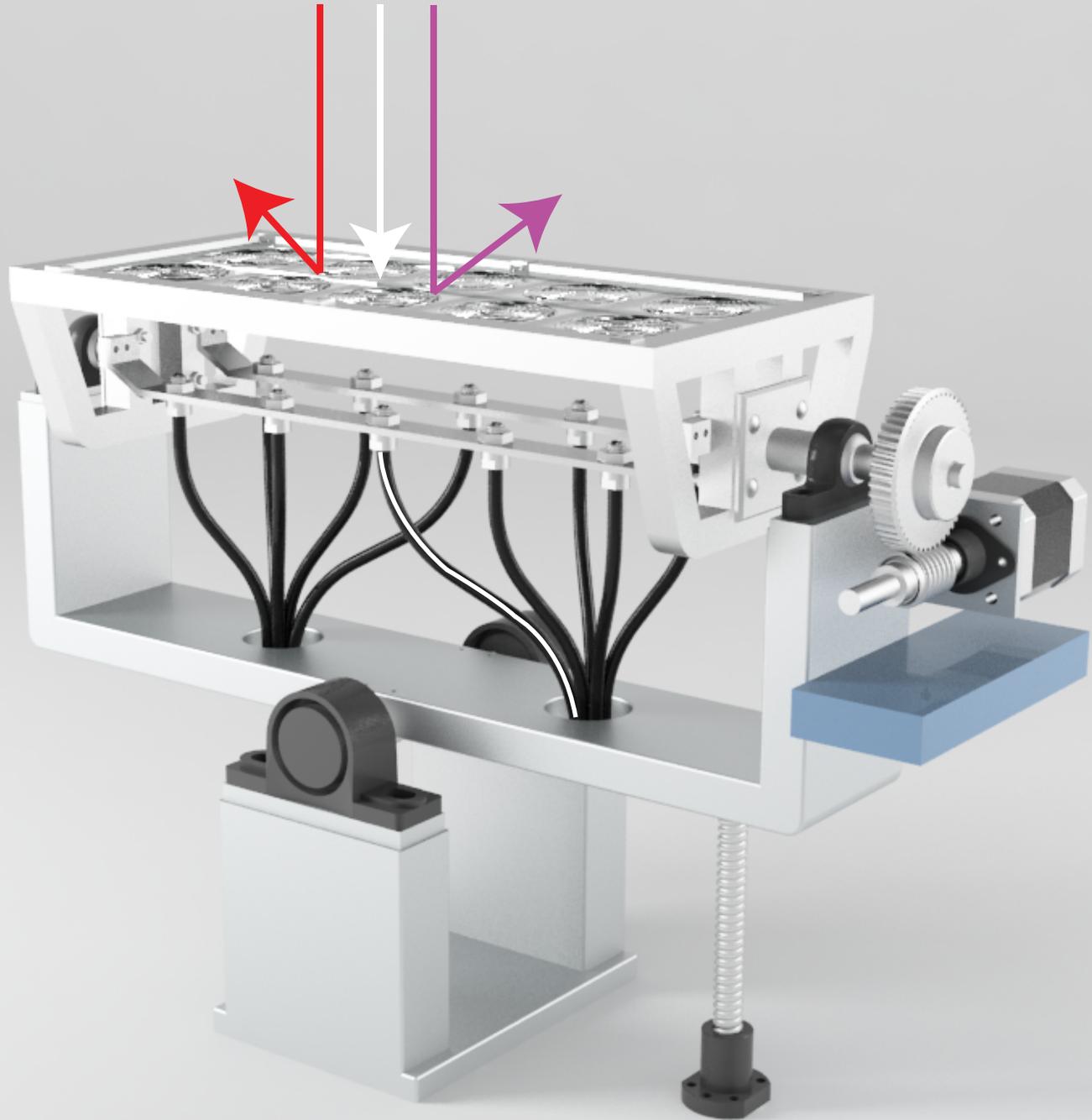
### 3.1.2 Descripción de componentes

Imagen 19. Exploso del sistema colector



### 3.1.3 Relación entre componentes y conexión de fibra óptica

Imagen 20. Relación entre componentes internos del colector



rayos IR  
luz visible  
rayos UV

### 3.1.4 Funcionamiento

Movimiento realizado por el colector para seguir la trayectoria diaria del sol

Fig 24. Movimiento diario del sol

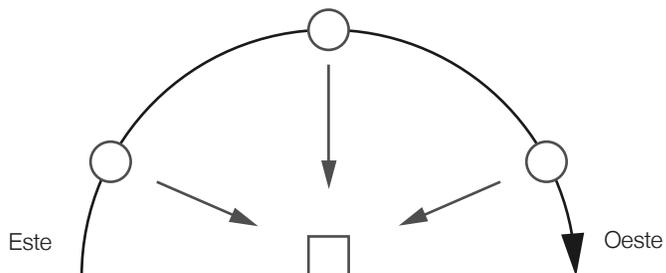
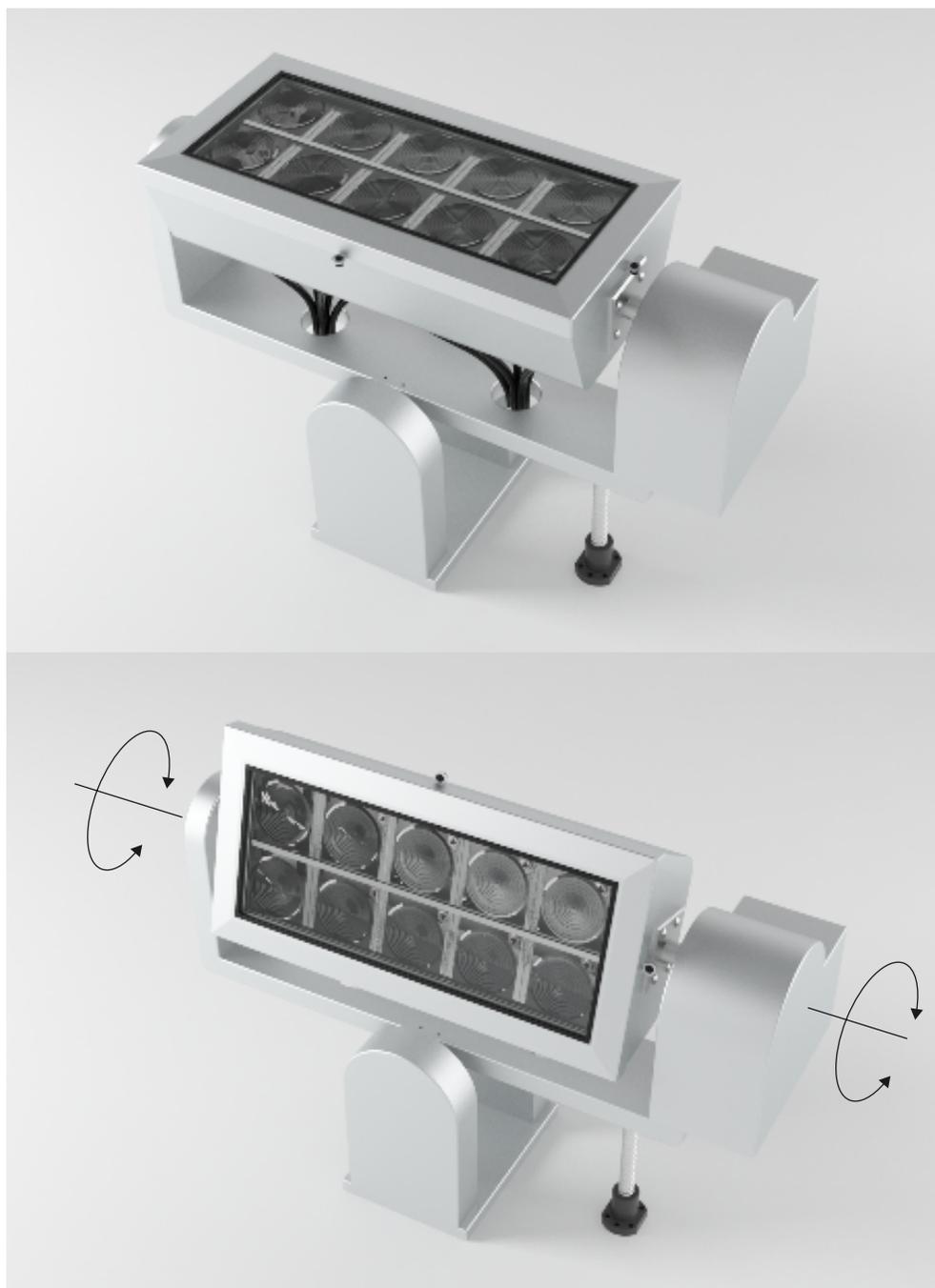


imagen 21. Funcionamiento del colector



Movimiento realizado por el colector para seguir la trayectoria anual del sol

Fig 25. Movimiento anual del sol

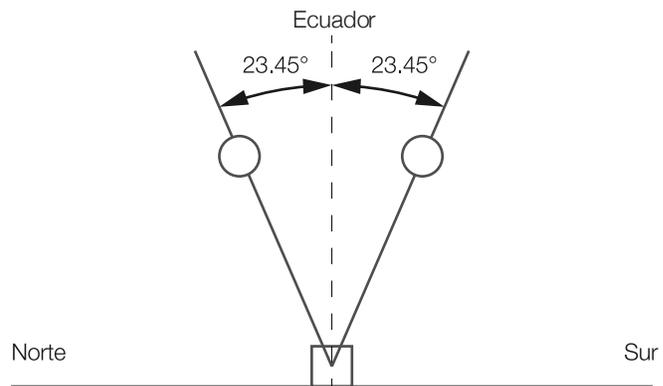


imagen 22. Funcionamiento del colector





### 3.2 Transporte de luz solar

La fibra óptica utilizada es multimodo de 3mm, esta debe tener una curvatura mínima de 20 veces su radio y puede recorrer hasta 14 m de distancia, donde la pérdida ya se hace notable.

#### Principio

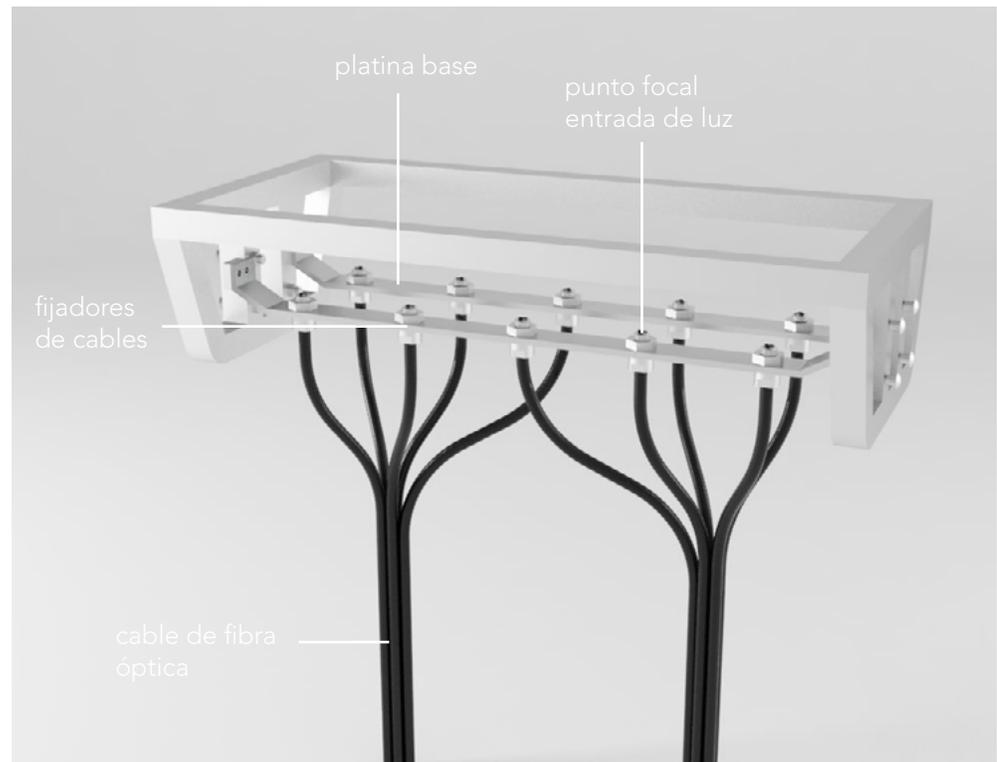
La luz es transportada bajo el principio de reflexión total interna.

ecolux

### 3.2.1 Sistema de transporte de la luz solar

La fibra óptica está instalada en el colector de luz por medio de un sujetador que la fija en el punto focal hasta donde es dirigida la luz por los lentes fresnel. Se utiliza un sujetador para cada cable de 3 fibras ópticas. Desde este punto inicia su recorrido al interior del edificio.

imagen 23. Funcionamiento de la fibra óptica



La fibra óptica es protegida por ductos acondicionados para servir de guía, desde el techo del edificio hasta su interior.

imagen 24. Guías y protección de la fibra óptica





### 3.3 Distribuidor de luz solar

Sistema que recibe la fibra óptica que transporta la luz natural y la distribuye en el espacio interno del edificio. Brinda la posibilidad de combinarse con luz artificial para que el usuario haga uso del sistema de día y noche. ECOLUX.

ecolux

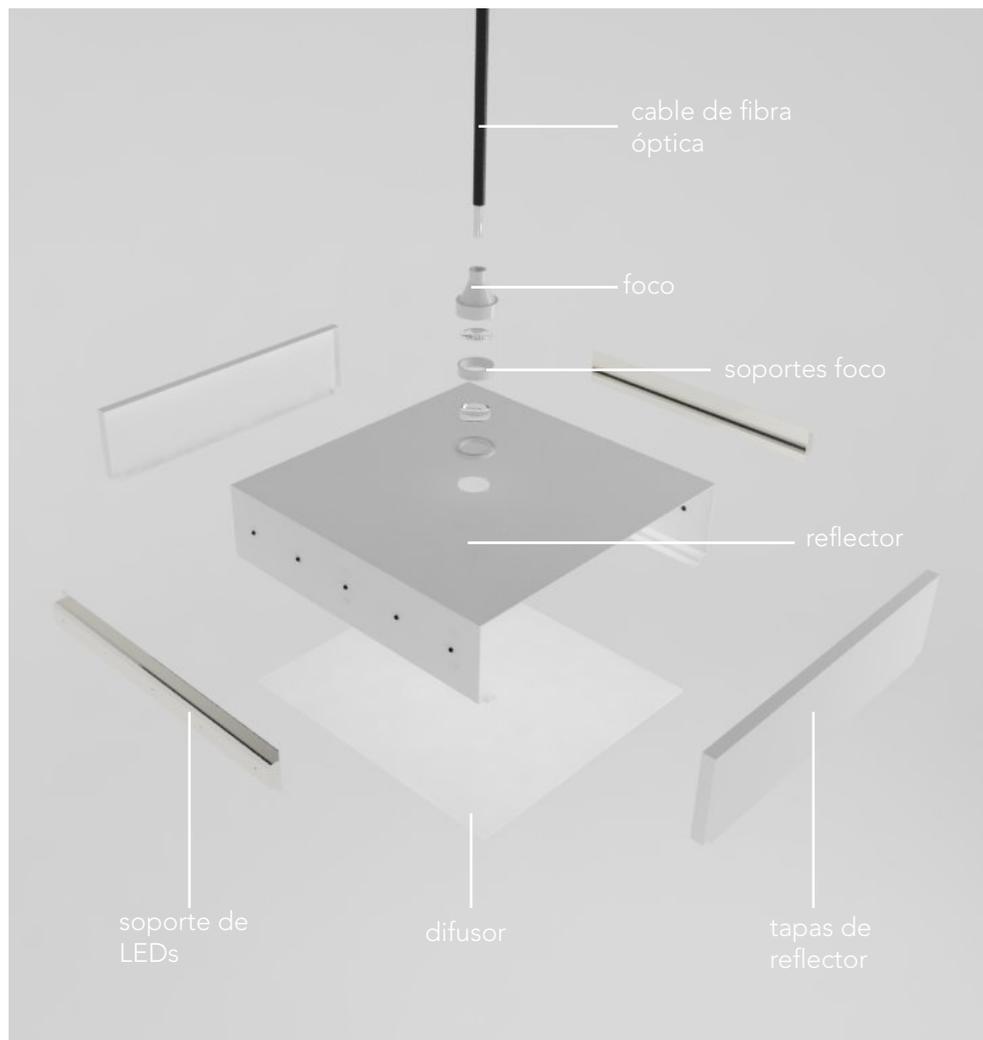
### 3.3.1 Sistema distribuidor de la luz solar

Imagen 25. Propuesta final del sistema distribuidor



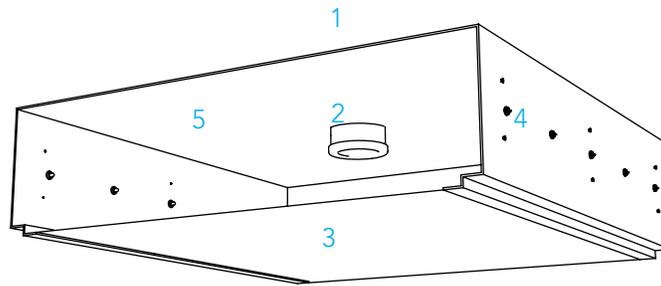
### 3.3.2 Descripción de componentes

Imagen 26. Exploso del sistema distribuidor



### 3.3.3 Relación entre componentes

Fig. 26. Relación entre componentes internos del distribuidor

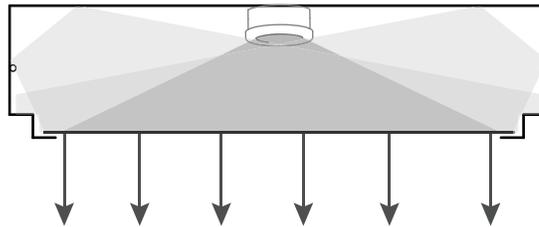


1. Entrada de la fibra óptica
2. Foco distribuidor de la luz natural del sol, transportada a través de la fibra óptica
3. Difusor que distribuye la luz en el espacio interno de manera uniforme
4. Paredes de 10 LEDs de 5W cada uno
5. Superficie reflectante (reflector)

#### Distribución de la luz combinada

A continuación se muestra cómo se da la combinación de la luz al utilizar artificial LED con natural del sol.

Fig. 27. Distribución de la luz combinada

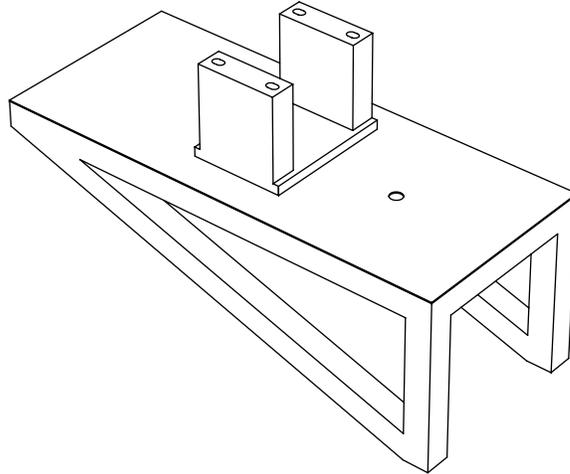


## 3.4 Interacción con el sistema

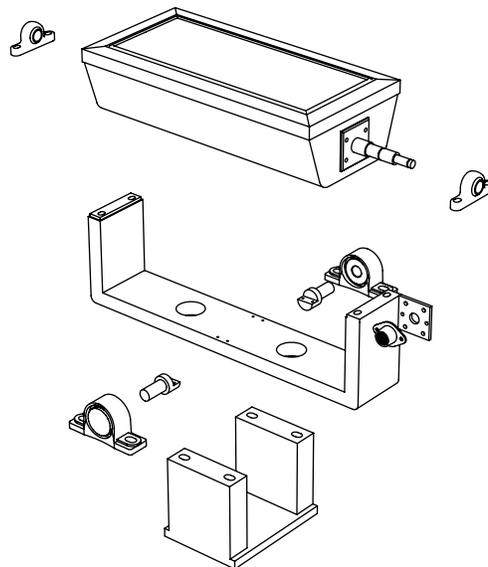
A continuación se presenta el proceso de armado del colector y del distribuidor de la luz solar.

### 3.4.1 Interacción del colector

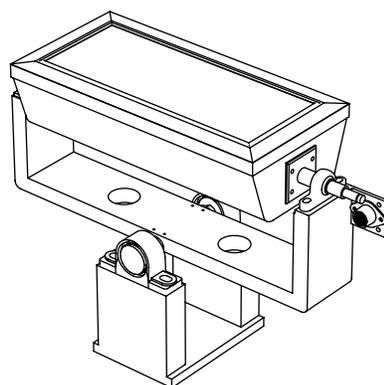
1. Fijar la base 1 a la plataforma



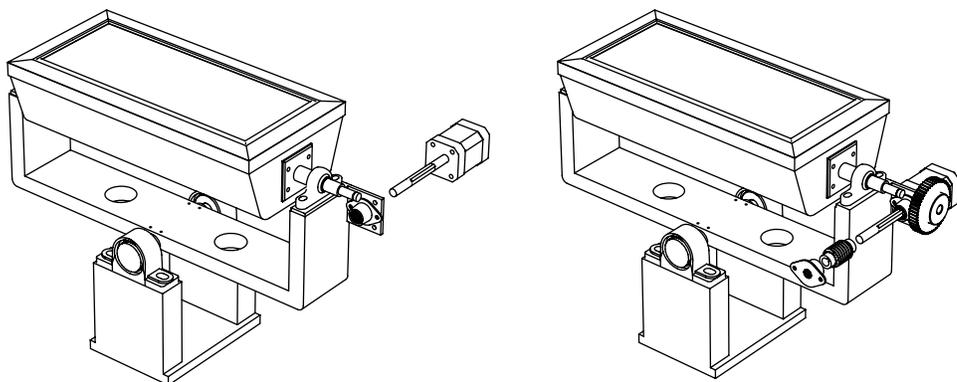
2. Colocar las muñoneras



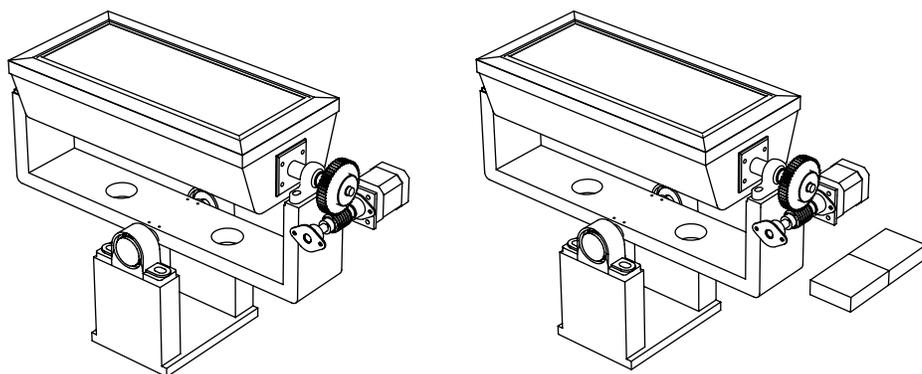
3. Fijar las muñoneras a las bases



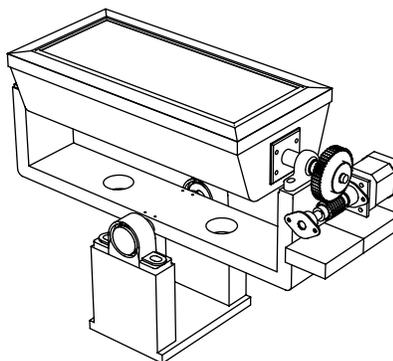
4. Colocar el motor con la muñonera



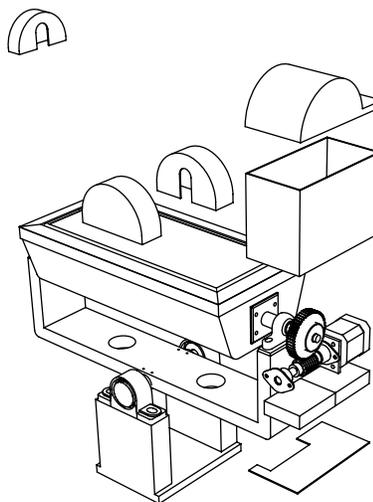
5. Colocar el engrane, tornillo sin fin y la segunda muñonera del motor



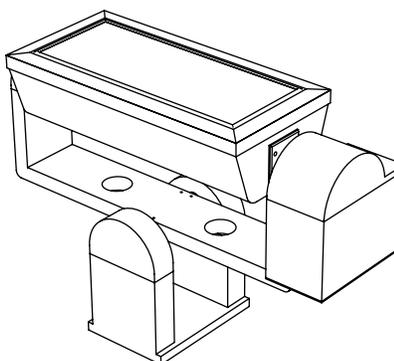
6. Fijar las cajas de los circuitos y realizar las conexiones eléctricas



7. Colocar las carcasas



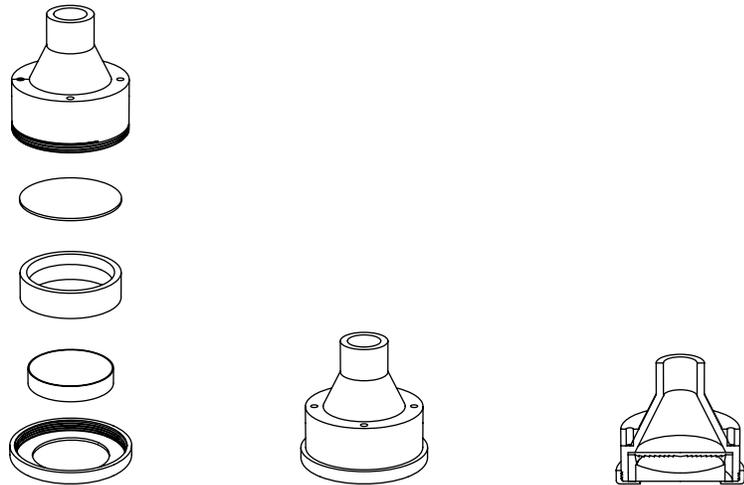
Colector de la luz solar



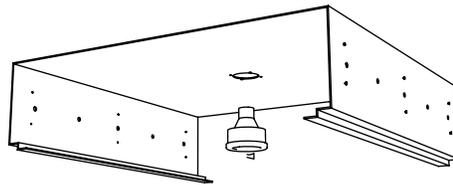
ecolux

### 3.4.2 Interacción del distribuidor

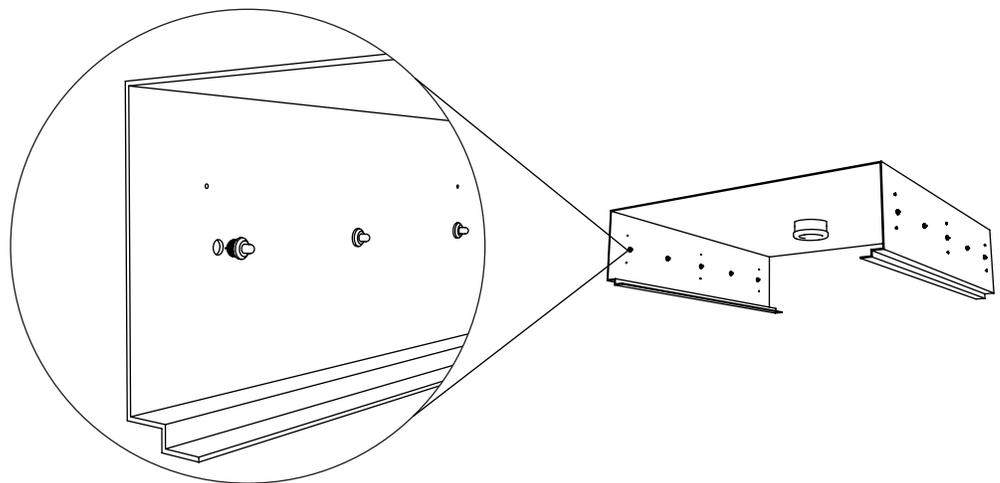
#### 1. Armar el foco



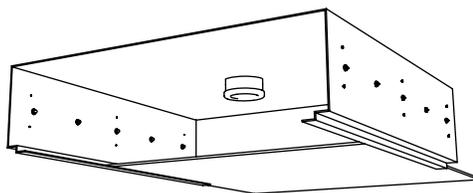
#### 2. Fijar el foco a la parte interna de la luminaria



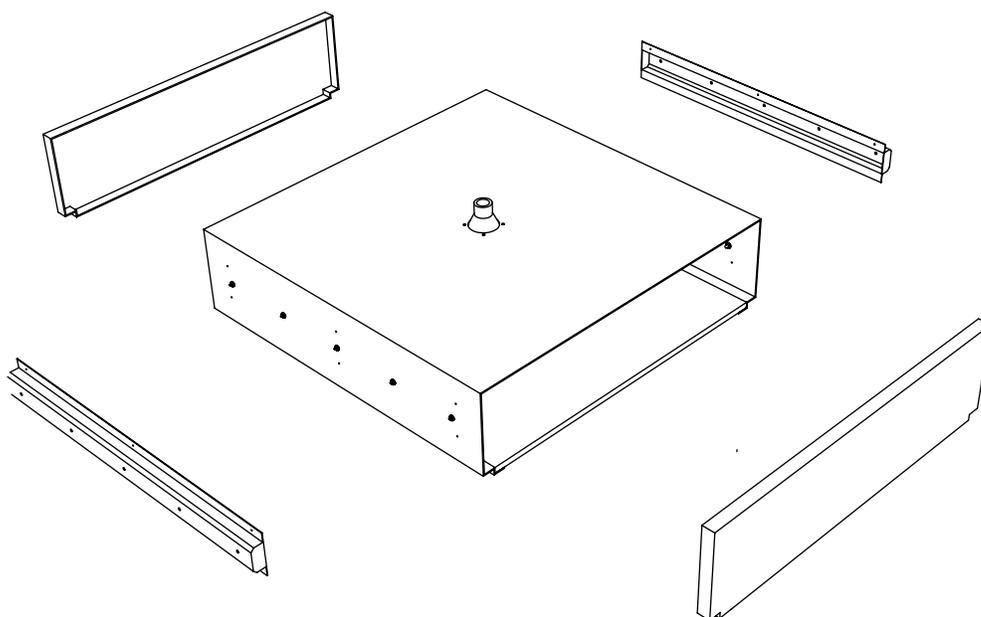
#### 3. Fijar los led y realizar las conexiones



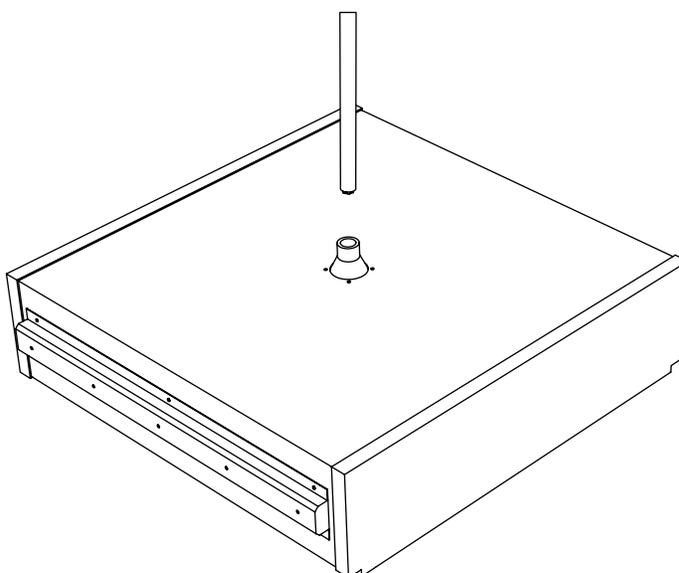
4. Colocar el difusor de luz



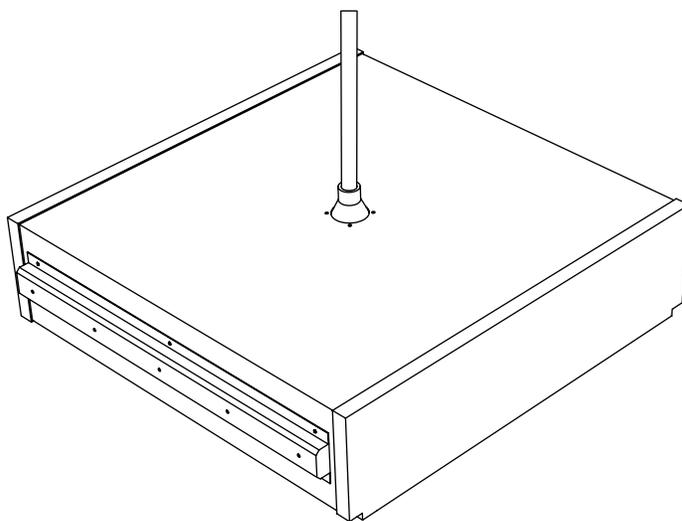
5. Colocar las tapas laterales y de los leds



6 Fijar el cable de fibra óptica en el foco



Distribuidor de la luz solar



ecolux

### 3.5 Contribuciones con el desarrollo del proyecto

#### Aprovechamiento de la luz natural para iluminar edificios en horas día

Dada la tendencia de las ciudades modernas a la verticalización de los edificios ayuda a disminuir el consumo energético generado por el uso de la luz artificial

#### Beneficios para la salud del ser humano

Entre los muchos beneficios, activa las defensas, mejora el estado de ánimo, regula los impulsos hambre-sed-sueño, mejora la capacidad de concentración, es un complemento para la adecuada visión y mantiene un ambiente natural dentro del edificio

#### Implementación de un sistema de iluminación natural en Costa Rica

Hasta ahora sistemas como este solo existían en países como EEUU, Suecia, Japón y adaptados a sus condiciones climáticas. Costa Rica se convierte así en el PRIMER PAIS DEL TROPICO en implementar un sistema de seguimiento del sol y utilizar la luz natural para iluminar el interior de los edificios

#### Reducción de costos

Los sistemas existente en el mercado tienen un precio que ronda los \$40 000, mientras que con ECOLUX se espera llegar a un costo que no supere los \$10 000 y de esta manera pueda ser implementado por cada vez más edificios

#### Disminución de impacto ambiental por la producción de luz artificial

Con la implementación de ECOLUX se logra disminuir el consumo energético de los edificios u hogares, por lo que tanto los costos como el impacto que causa a la naturaleza la producción de energía eléctrica disminuyen

#### Aumento de la conciencia ambiental

Sistemas como ECOLUX ayudan a que la mentalidad del costarricense se incline cada vez más hacia el consumo de energías limpias y aporta al propósito país de llegar al 2020 a ser carbono neutral.

ecolux

### 3.6 Gradientes de mejora

Forma compacta funcionalmente adaptada a las condiciones de Costa Rica



Se adaptó el sistema a las características climáticas del trópico, logrando captar los rayos solares siempre de manera perpendicular.

ECOLUX permite adaptarse a las condiciones climáticas específicas de Costa Rica.

Se logra un diseño compacto basado en la funcionalidad y precisión requerida.



El diseño del colector tiene las dimensiones apropiadas para ser manipulado por una persona y brinda facilidad de instalación.

Disminución de costos en relación con sistemas similares existentes

\$40 000

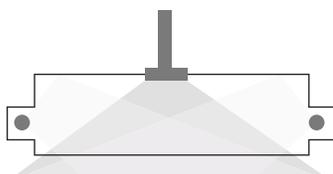


\$10 000

Con la implementación de mecanismos sencillos como el cambio de un Data Logger por una Fotocelda y un diseño más compacto que utiliza solo piezas funcionales, se logra una disminución cuantiosa de los costos.

Además se consideró que el máximo posible de piezas pueda obtenerse por producción nacional y que los proveedores del extranjero sean factibles y se encuentren a la menor distancia posible, lo cual facilite su adquisición.

Posibilidad de combinar con luz artificial



El sistema de distribución de la luz, brinda la posibilidad de combinar la luz natural del sol con la luz artificial. Se dejan previstas las conexiones para 10 LED de 5W cada uno para alcanzar una intensidad luminosa de 300 lx necesarios para el área de trabajo definidas.

El sistema no necesita de modificaciones estructurales en el edificio para ser instalado

Una de las ventajas de utilizar este sistema, es que al estar conformado de tres subsistemas principales, cada uno está colocado en partes específicas del edificio (techo, ductos, interior), por lo que no requiere de modificaciones estructurales como si lo necesitaría un ventanal, patio de luz o un tragaluz.

Diseño de un sistema bajo la concepción de una línea de productos

Bajo la marca ECOLUX, se presenta el Sistema de Iluminación Natural, que se conforma de 3 subsistemas. un colector al exterior del edificio, el cable de fibra óptica que atraviesa el edificio y el distribuidor de luz.

ecolux

Sistema de Iluminación Natural

### 3.8 Conclusiones y recomendaciones

El sistema de Iluminación Natural ECOLUX, ha sido diseñado demostrando que en Costa Rica existe la capacidad de desarrollar sistemas complejos, específicos para cubrir necesidades humanas, que son sujeto de investigación y de pruebas diarias. Inicialmente este tipo de sistemas existían y eran desarrollados solo para países desarrollados como Estados Unidos, Japón y Suecia. Ahora Costa Rica cuenta con ECOLUX, un sistema que permite captar la luz solar, transportarla hasta introducirla al edificio y distribuirla de forma difusa, para lograr un aprovechamiento de la luz natural, luz que hasta el día de hoy se desperdicia siendo una fuente de energía de gran potencial.

Además por parte de este grupo de trabajo, se logra el desarrollo de un producto que ayuda a disminuir el consumo energético de los edificios y el gasto energético que genera la obtención de energía artificial, bajando el impacto ambiental que esto produce.

Sin dejar de lado los beneficios para la salud del ser humano que brinda la luz solar. Se genera un espacio interno en los edificios más natural, que las personas lo reflejan al tener más ganas de trabajar, disminuir su estrés, activar las defensas, entre otros beneficios.

Para el uso adecuado del sistema, se recomienda lo siguiente:

- Limpiar el filtro del colector al menos una vez por al año, para evitar la acumulación de suciedad que genere una pérdida en la cantidad de luz del sol captada.

- La curvatura máxima de la fibra permitida es de 20 veces su radio, si se sobrepasa esto, podrían generarse pérdidas en el transporte de la luz o daños en la fibra.

- Se recomienda utilizar en el sistema distribuidor de luz la combinación de luz natural del sol con la luz artificial de los LEDS para aprovechar al máximo el sistema tanto en el día como en momentos donde el sol es casi imperceptible como en la noche.

- En caso de daño de una de las fibras, el sistema está configurado de manera que solo tenga que intercambiarse esa fibra, están distribuidas de manera individual, grupos de 3 fibras ópticas por cable.

- El sistema al estar desarrollado para una investigación, debe ser probado su rendimiento a lo largo de un año, por lo que está sujeto a modificaciones que mejoren su rendimiento. De manera que en este punto no es un producto comercial. Está diseñado específicamente para un proyecto de investigación.

#### 4. Bibliografía

- CIE. (1986). *Sistemas de Iluminación*.
- Ghisi, E. (2002). *The use of fibre optics on energy efficient*.
- Leonardo Assaf, E. C. (2006). *Manual de Iluminación Eficiente*. Buenos Aires.
- André, E., & Schade, J. (2002). *Daylighting by Optical Fiber*.
- CATEHE. (2005). *Fundamentos de Iluminación*. Recuperado el 2 de agosto de 2013, de [http://www.catehe.com/02\\_teoría/02\\_001.htm](http://www.catehe.com/02_teoría/02_001.htm)
- Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República-Uruguay. (2013). *Óptica Geométrica*. Montevideo.
- García Fernandez, J. (Abril de 2012). *Luminotecnia. Iluminacion de interiores y exteriores*. Recuperado el 6 de agosto de 2013, de [edison.upc.edu/](http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/magnitudes-unidades.html): <http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/magnitudes-unidades.html>
- Ghisi, E. (2002). *The use of fibre optics on energy efficient lighting in buildings*.
- Jerry , W., & Buffa, A. (2003). *Fisica (5ta edición ed.)*. México: Pearson Education.
- Nave, C. (2000). *Fresnel Lens*. Recuperado el 1 de Setiembre de 2013, de HyperPhysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/fresnellens.html>
- Phillips. (25 de Abril de 2009). *Fundamentos sobre la luz y la iluminación*. Recuperado el 2 de agosto de 2013, de [www.ilumec.com](http://www.ilumec.com): <http://www.ilumec.com/>
- Tippens, P. (2011). *Luz e iluminación*. Distrito Federal, Mexico: McGraw Hill.

## 5. Anexos

### 5.1 Planos constructivos

Se presentan los planos de cada una de las piezas que requieren de fabricación de forma individual.

### 5.2 Tabla de costos

Contiene los costos estimados hasta el momento en el que se encuentra el proyecto.

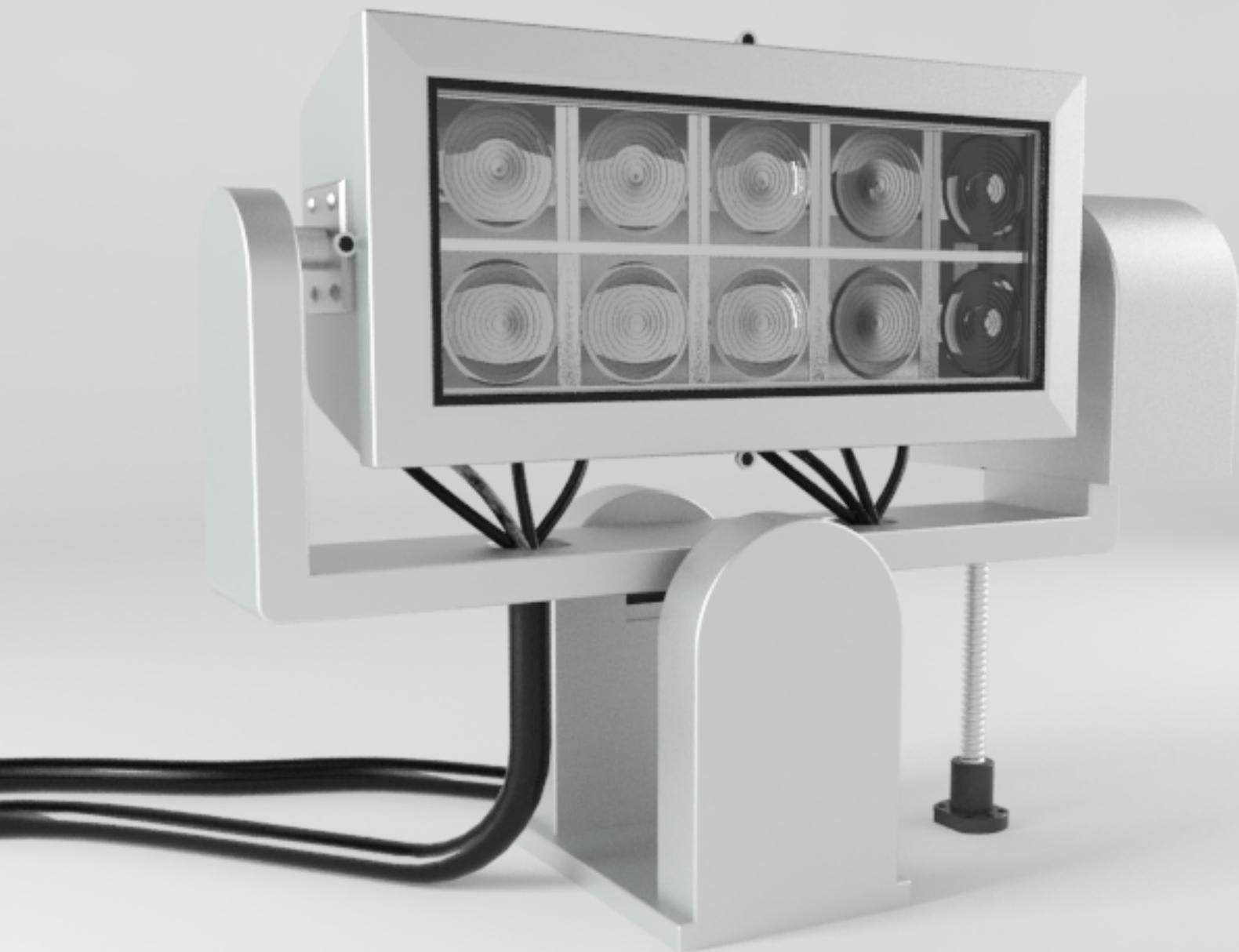
### 5.3 Cálculos realizados

En esta sección se presentan los cálculos realizados para definir aspectos importantes en la configuración del sistema como: medida y cantidad de lentes, distancia focal, etc.

### 5.4 Simulaciones de iluminación realizadas

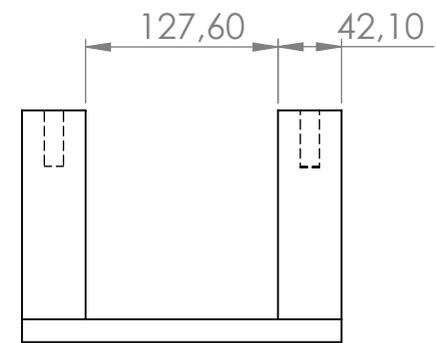
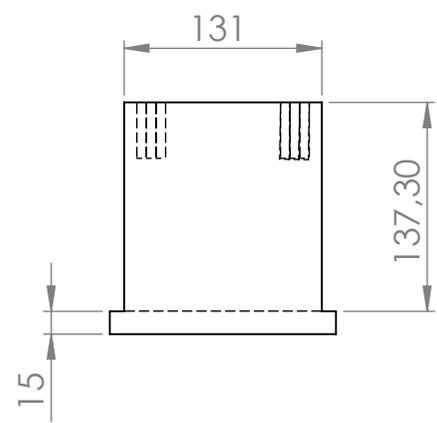
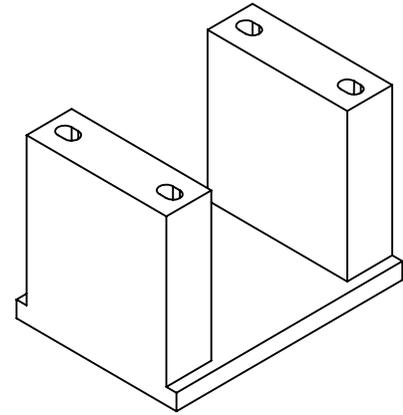
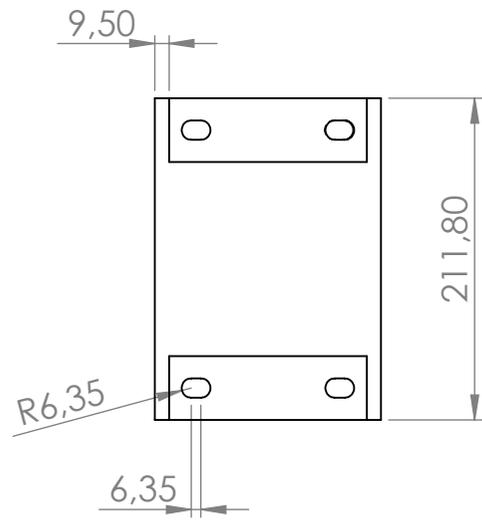
En este anexo se muestran los resultados arrojados por el software DIALUX, para determinar el tipo de distribuidor que se debía implementar en el proyecto.

Planos Colector de luz solar



ecolux

Sistema de Iluminación Natural



TÍTULO:

# Base 1

MATERIAL:

Aluminio

FABRICACIÓN:

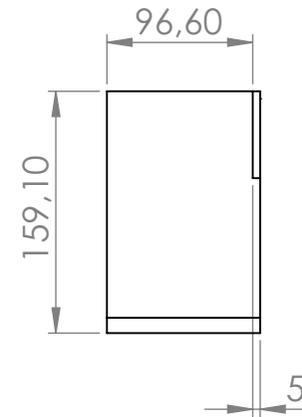
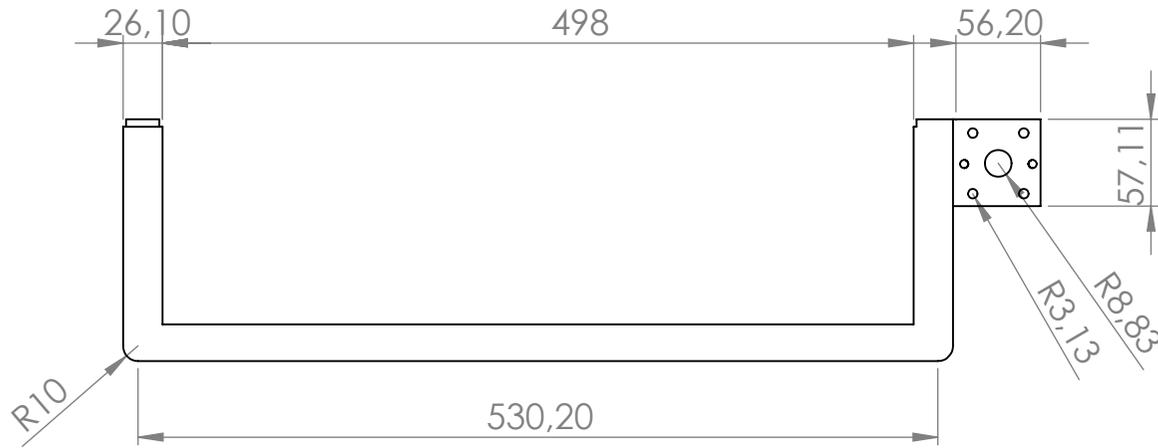
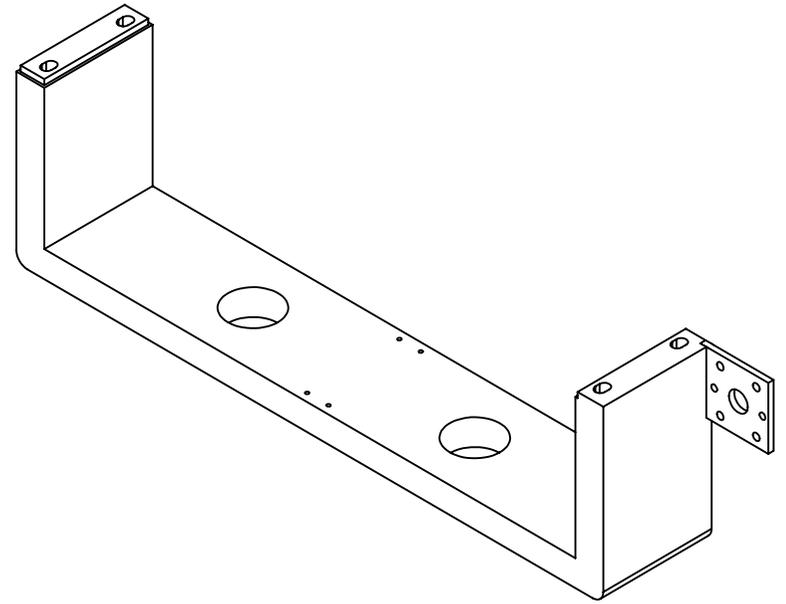
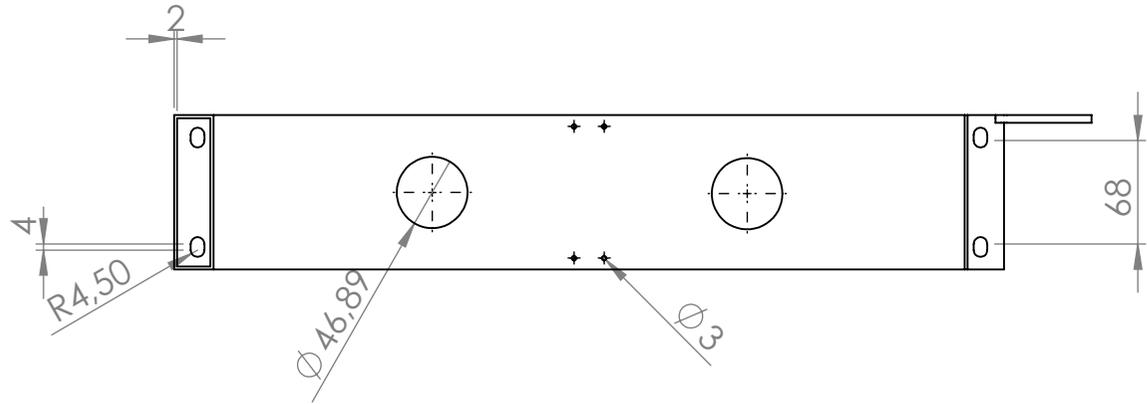
Fundición en arena

N.º DE DIBUJO

1

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

# Base 2

MATERIAL:

Aluminio

FABRICACIÓN

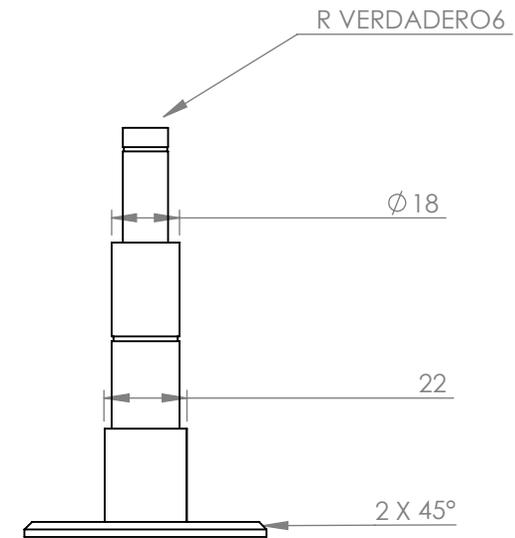
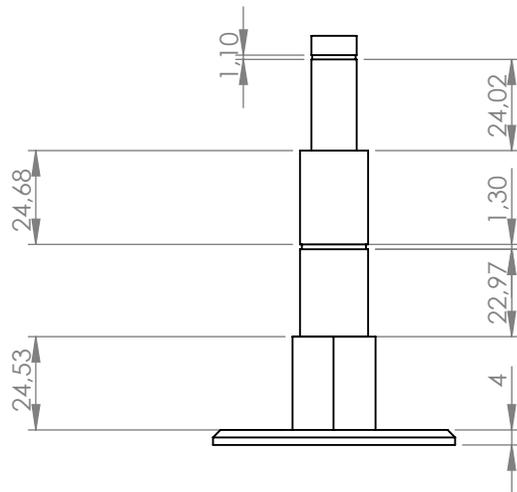
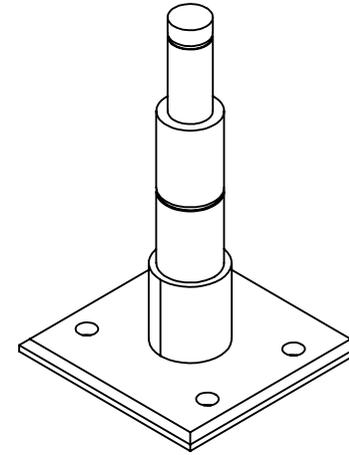
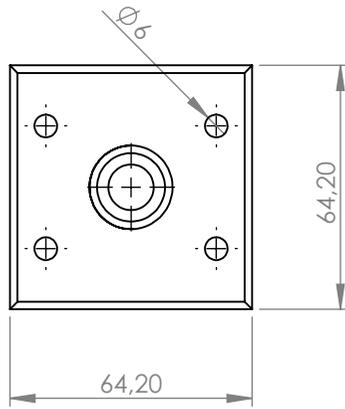
Fundición en arena

N.º DE DIBUJO

2

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

# Brazo colector-motor

MATERIAL:

Aluminio

FABRICACIÓN

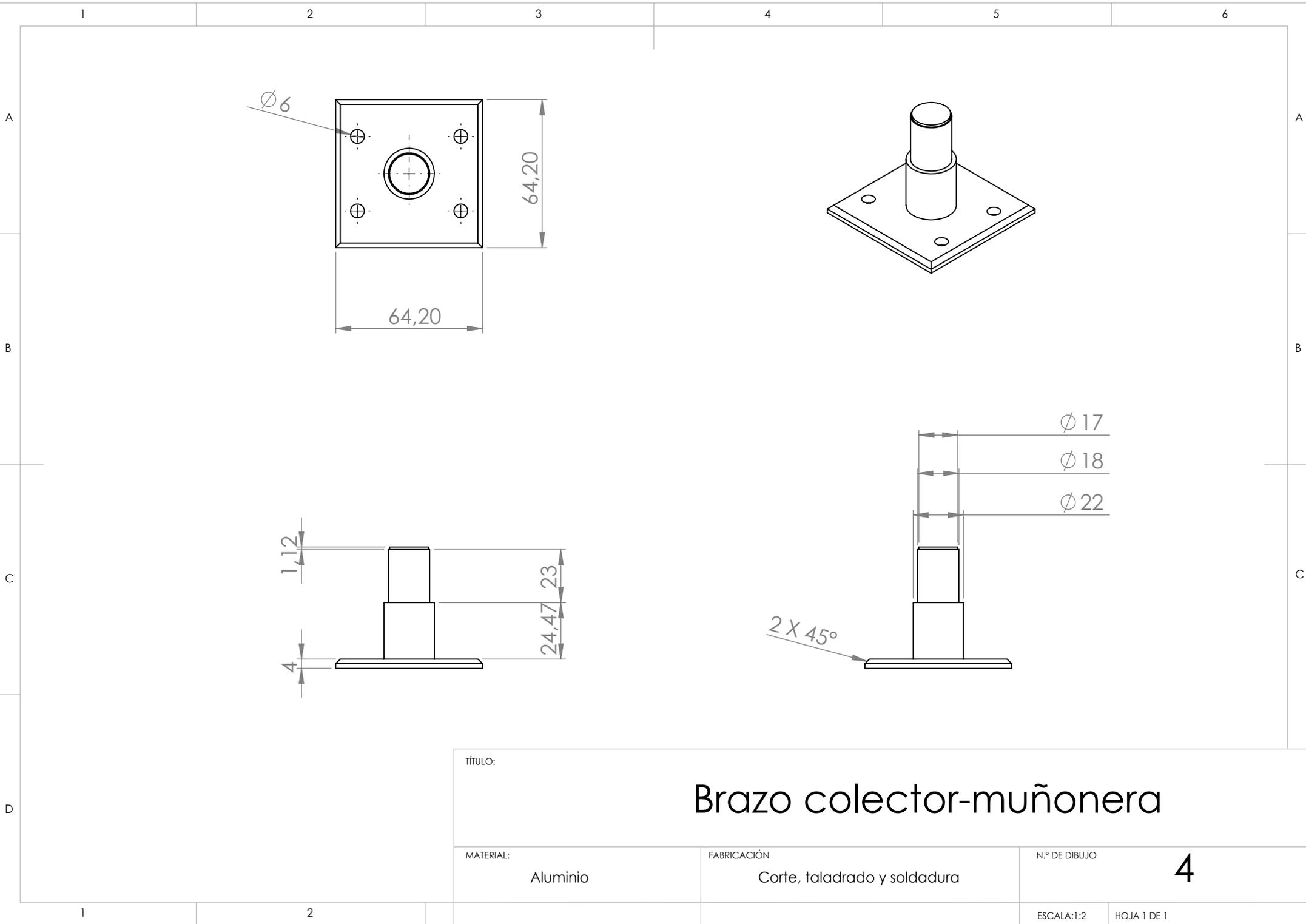
Corte, taladrado y soldadura

N.º DE DIBUJO

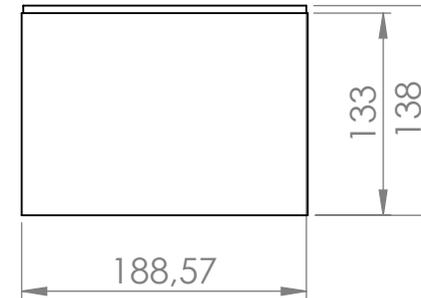
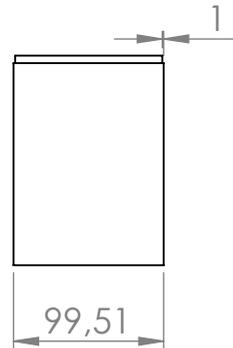
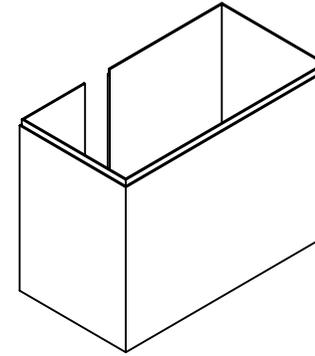
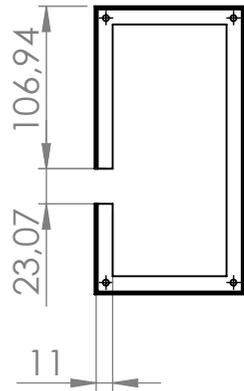
3

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:			<h1>Brazo colector-muñonera</h1>		
MATERIAL:	Aluminio	FABRICACIÓN:	Corte, taladrado y soldadura	N.º DE DIBUJO:	<b>4</b>
			ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1	



TÍTULO:

# Carcasa motor

MATERIAL:

Acero Inoxidable

FABRICACIÓN

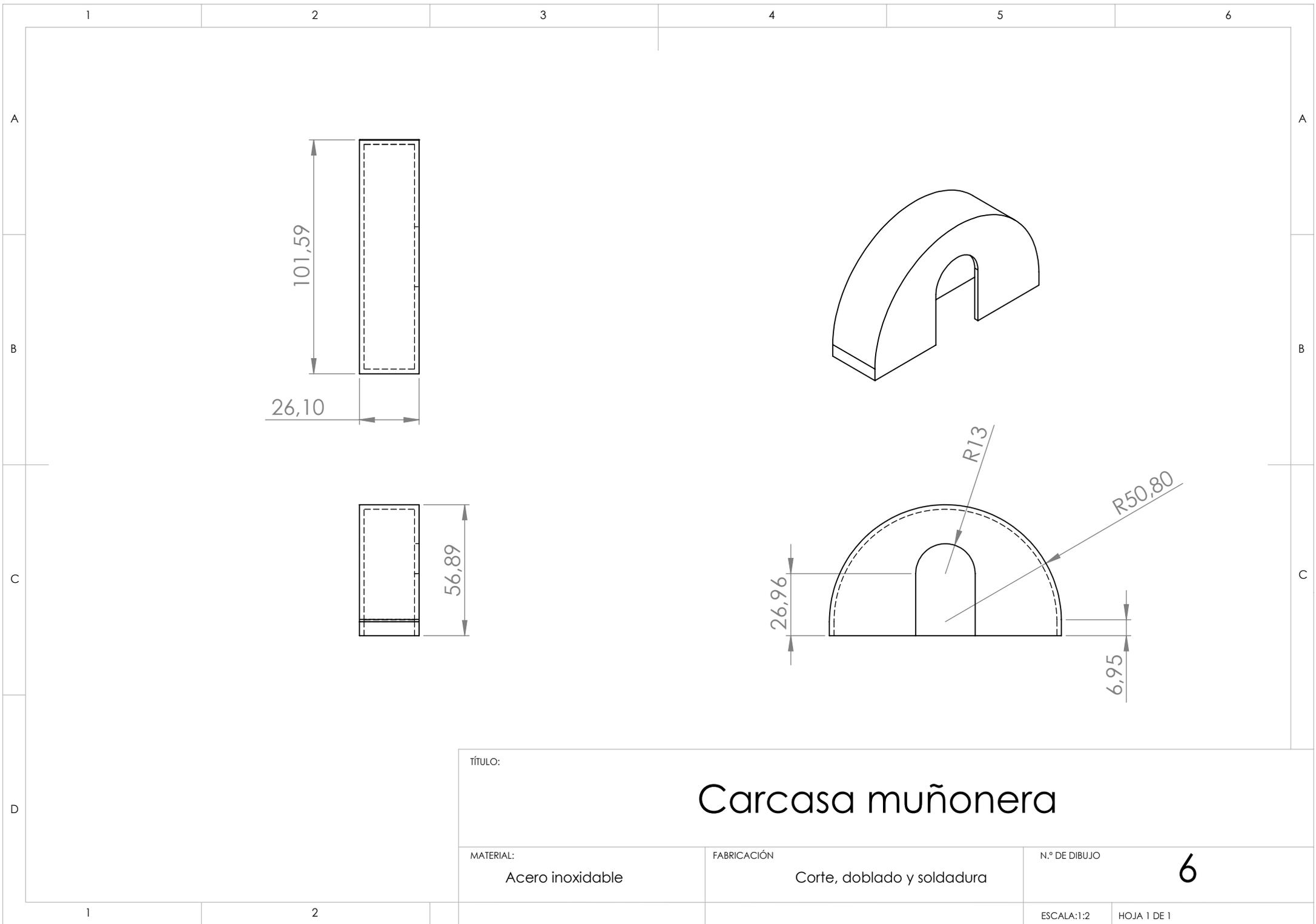
Corte y doblado

N.º DE DIBUJO

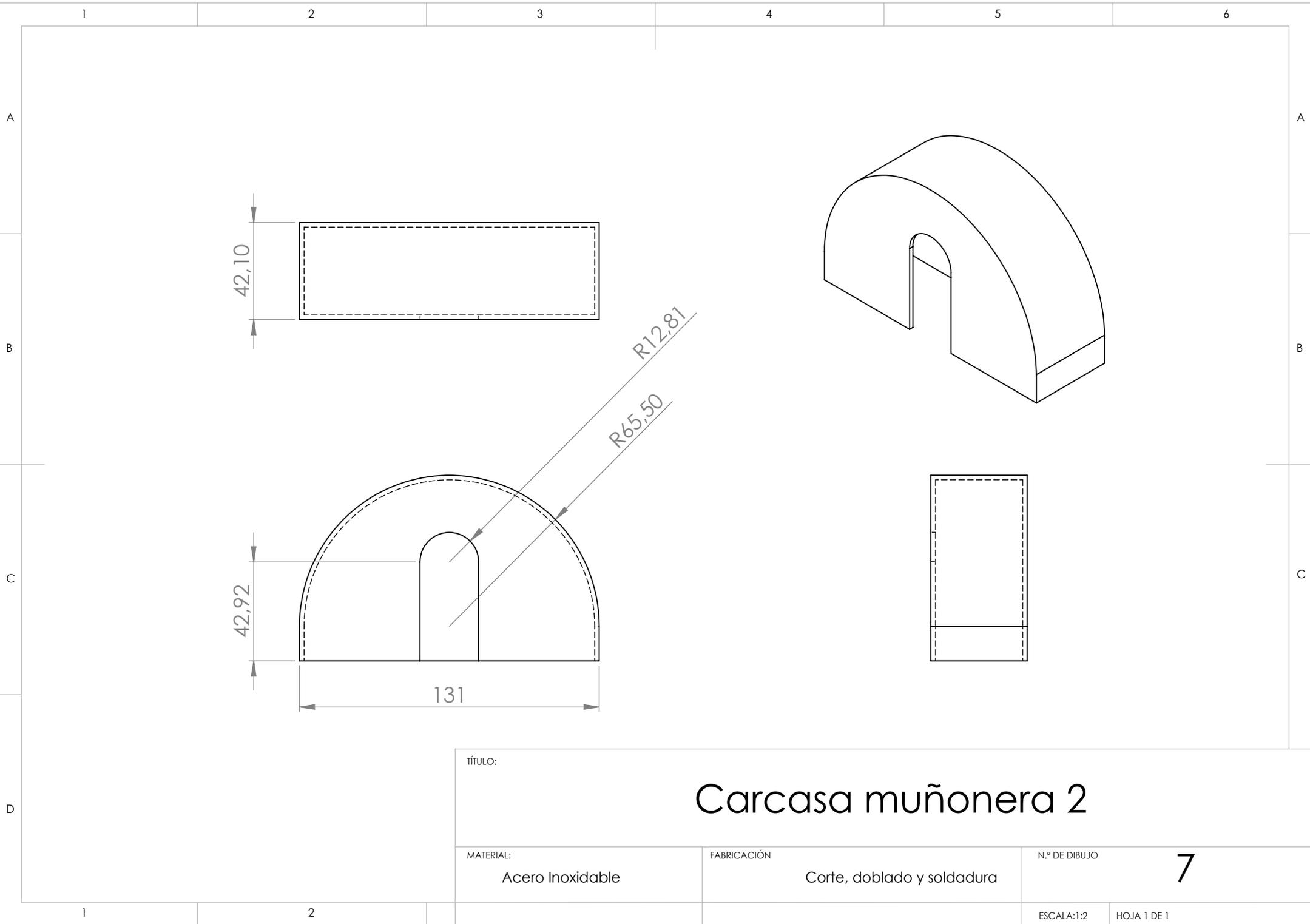
5

ESCALA: 1:5

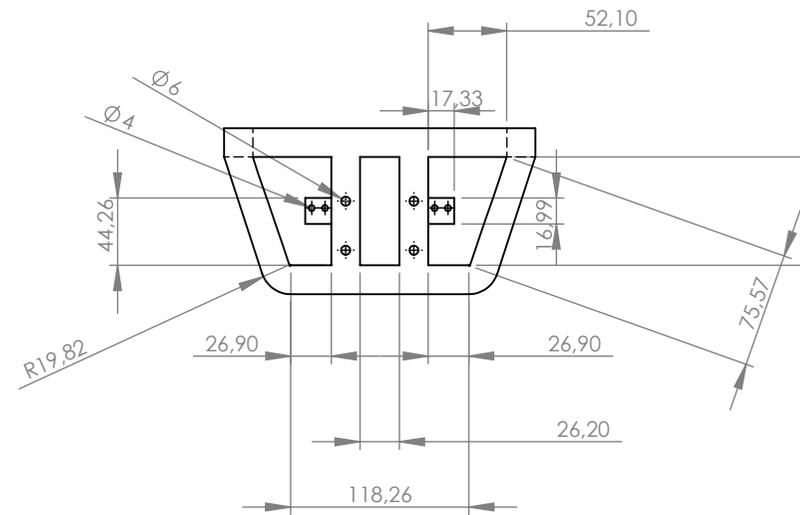
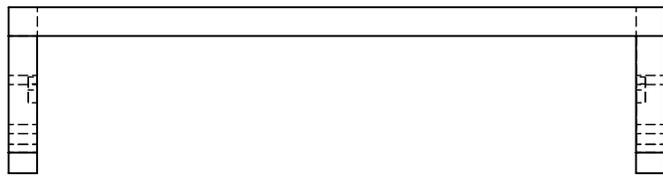
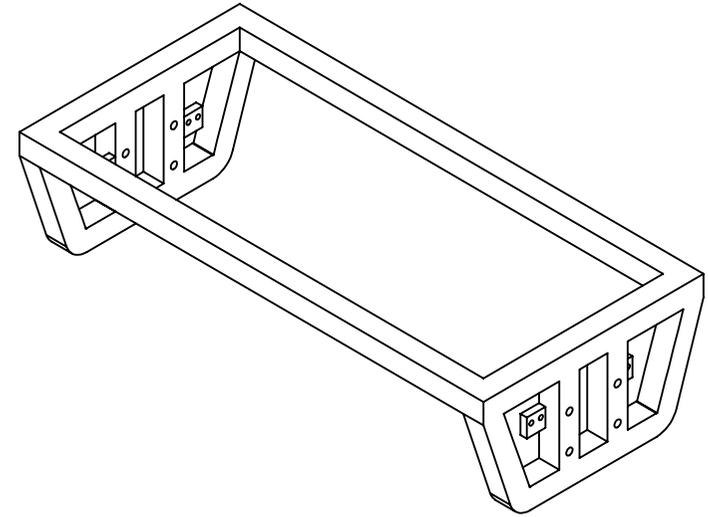
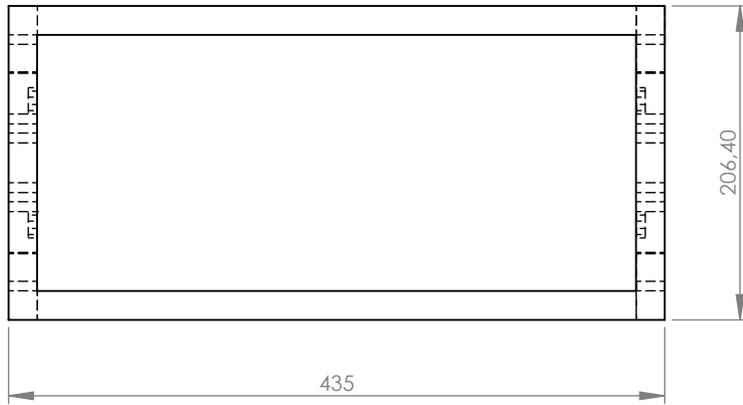
HOJA 1 DE 1



TÍTULO:		<h1>Carcasa muñonera</h1>	
MATERIAL:	FABRICACIÓN	N.º DE DIBUJO	<b>6</b>
Acero inoxidable	Corte, doblado y soldadura	ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1



TÍTULO:			<h1>Carcasa muñonera 2</h1>	
MATERIAL:	FABRICACIÓN	N.º DE DIBUJO		
Acero Inoxidable	Corte, doblado y soldadura	<h1>7</h1>		
		ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1	



TÍTULO:

# Estructura

MATERIAL:

Hierro

FABRICACIÓN

Corte, doblado y soldadura

N.º DE DIBUJO

8

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 1

1

2

3

4

5

6

A

A

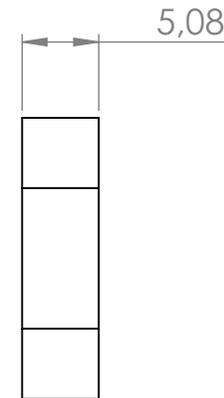
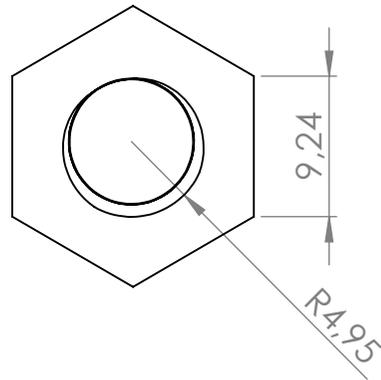
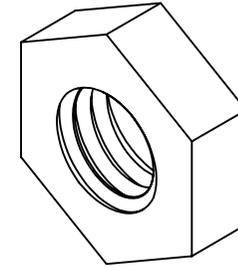
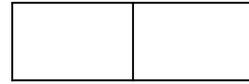
B

B

C

C

D



TÍTULO:

# Tuerca para ferrule

MATERIAL:

PLA

FABRICACIÓN

Impresión 3d

N.º DE DIBUJO

10

ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1

1

2

1

2

3

4

5

6

A

A

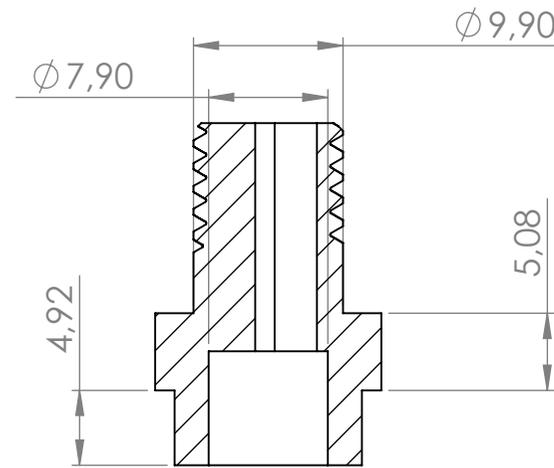
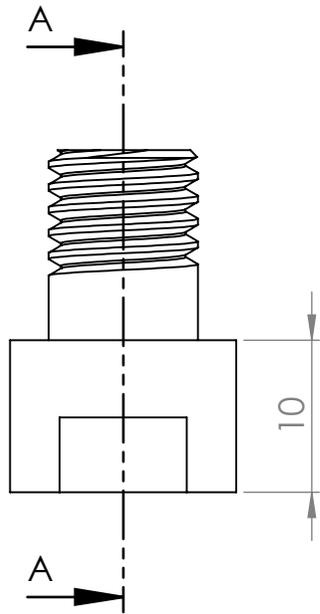
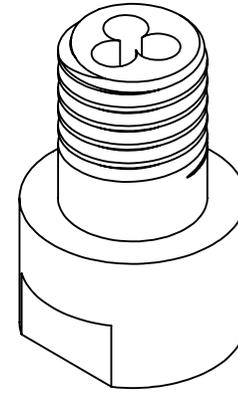
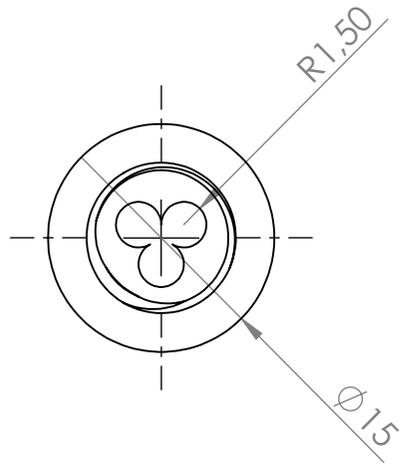
B

B

C

C

D



SECCIÓN A-A

TÍTULO:

Ferrule

MATERIAL:

PLA

FABRICACIÓN

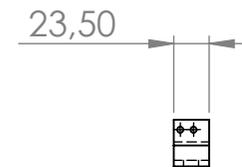
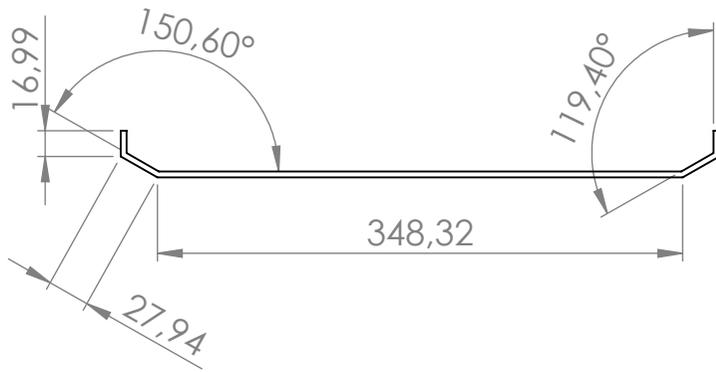
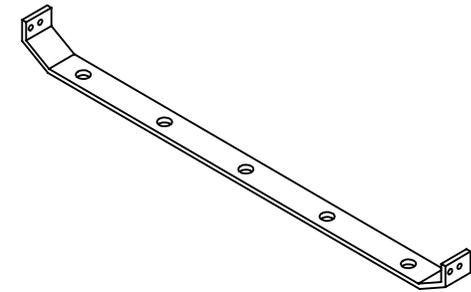
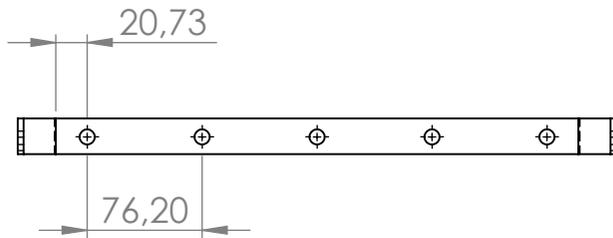
Impresión 3d

N.º DE DIBUJO

9

ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

# Platina para ferrules

MATERIAL:

Hierro

FABRICACIÓN

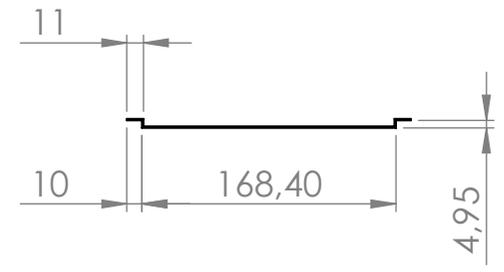
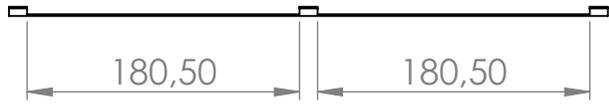
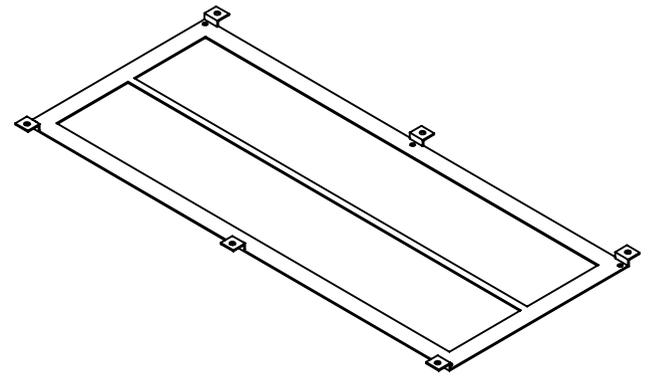
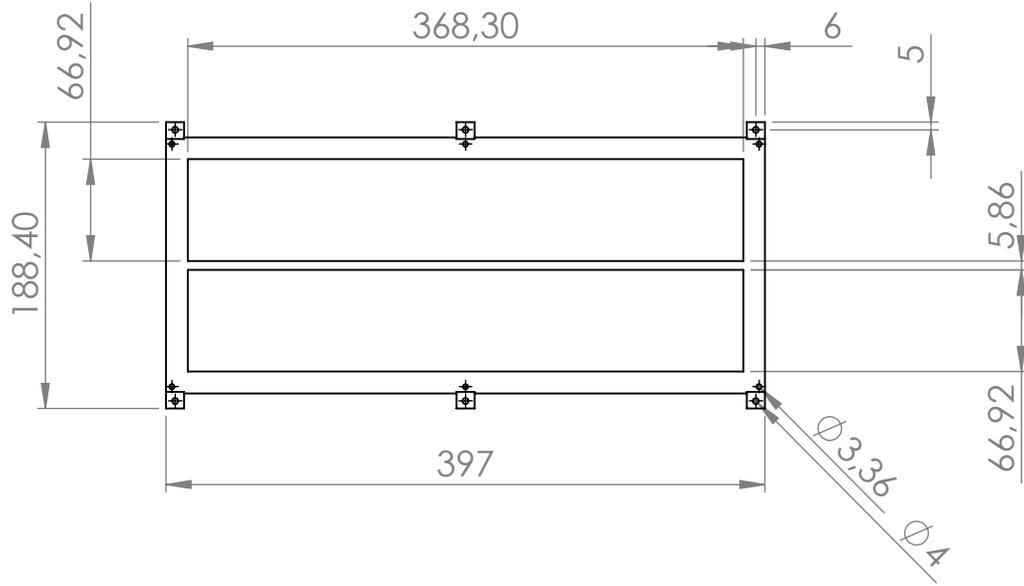
Corte, taladrado y doblado

N.º DE DIBUJO

11

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1



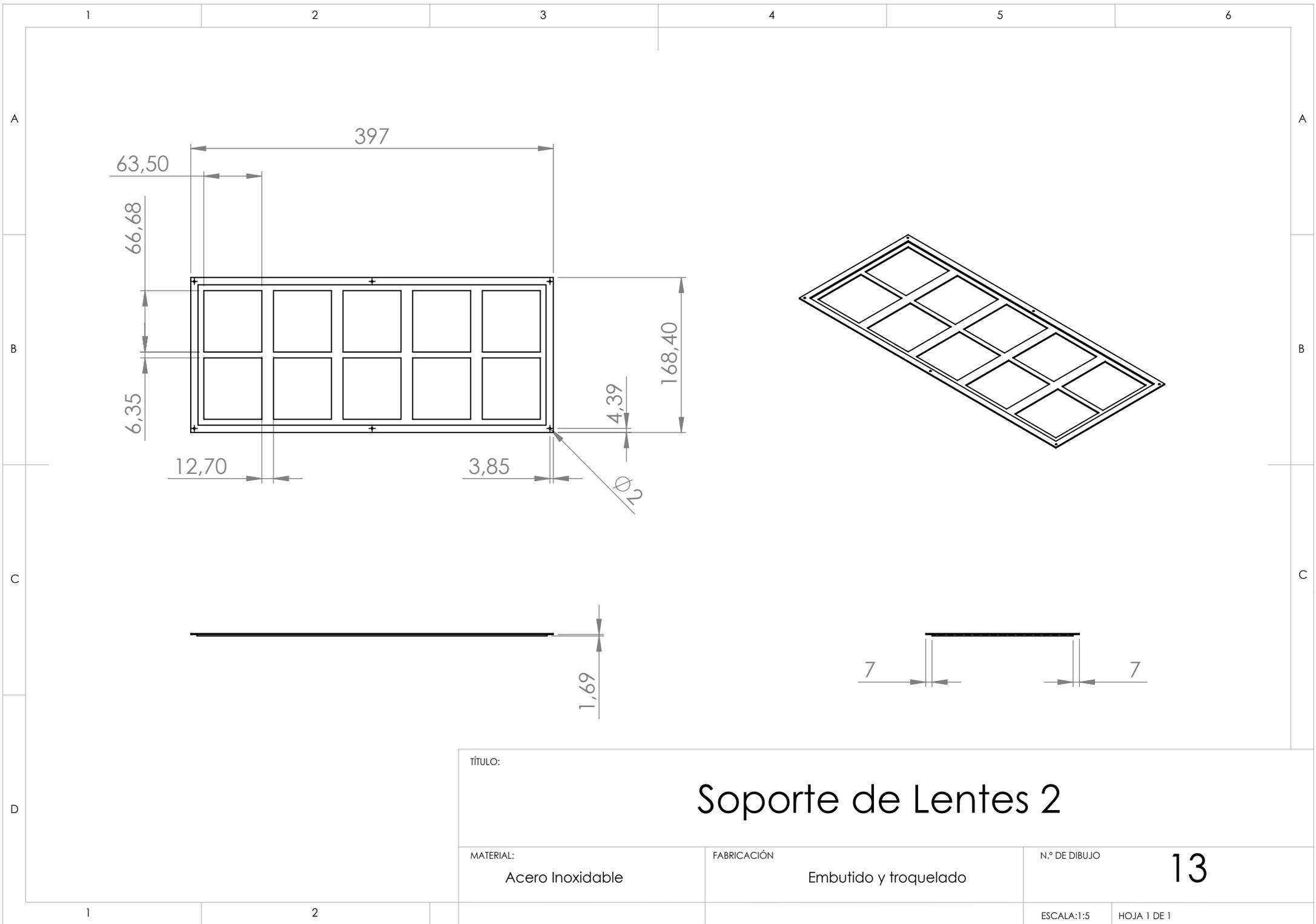
TÍTULO:

# Soporte de Lentes Fresnel

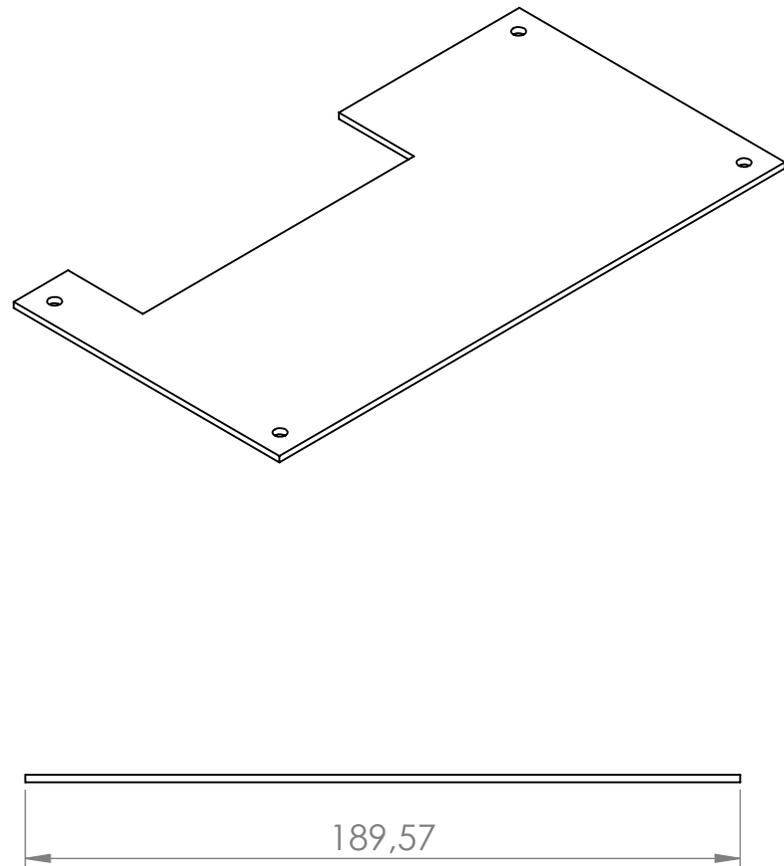
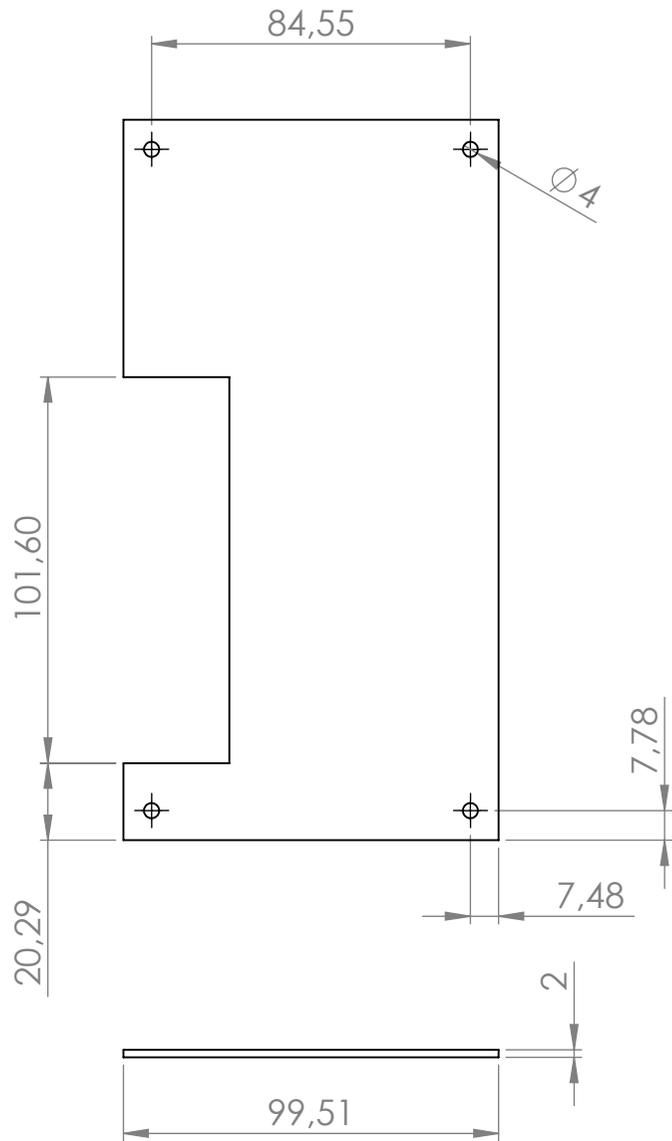
MATERIAL:  
Acero Inoxidable

FABRICACIÓN  
Embutido y troquelado

N.º DE DIBUJO  
**12**



TÍTULO:			<h1>Soporte de Lentes 2</h1>	
MATERIAL:		FABRICACIÓN		N.º DE DIBUJO
Acero Inoxidable		Embutido y troquelado		<b>13</b>
ESCALA: 1:5			HOJA 1 DE 1	



TÍTULO:

# Base de Carcasa del Motor

MATERIAL:

Acero Inoxidable

FABRICACIÓN

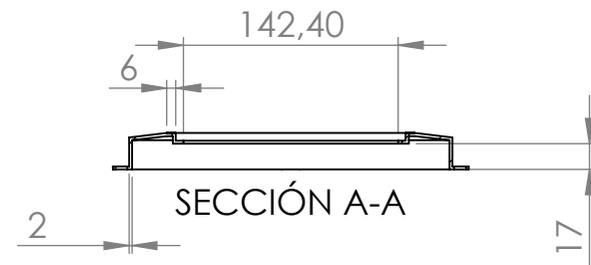
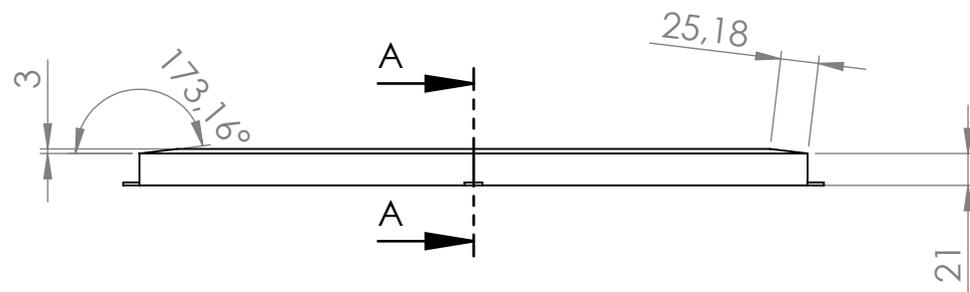
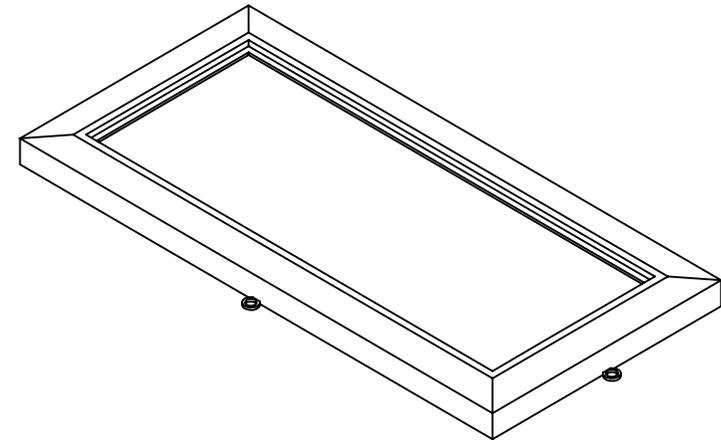
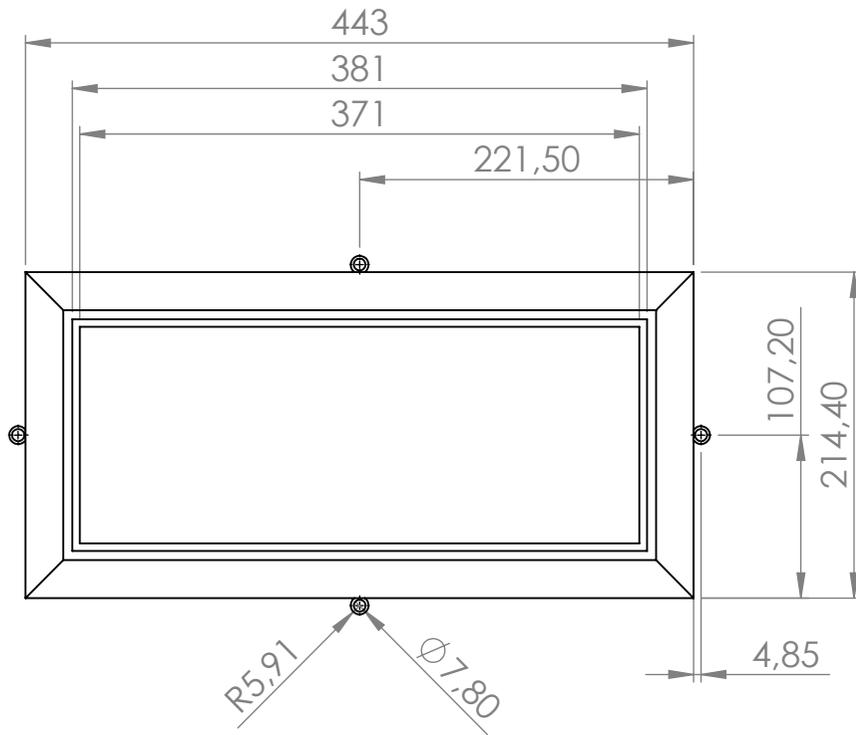
Embutido y troquelado

N.º DE DIBUJO

14

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

# Tapa del Colector

MATERIAL:

Acero Inoxidable

FABRICACIÓN

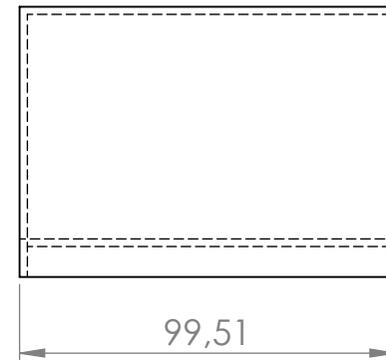
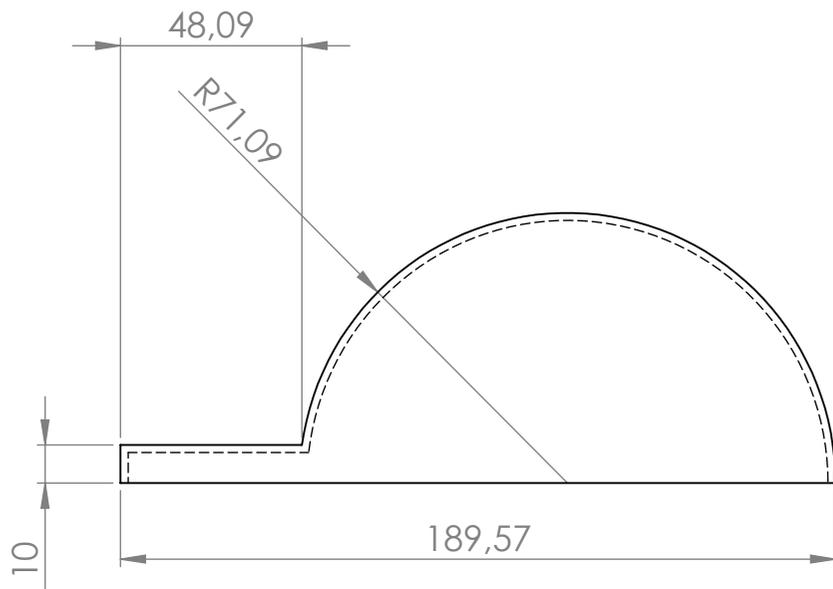
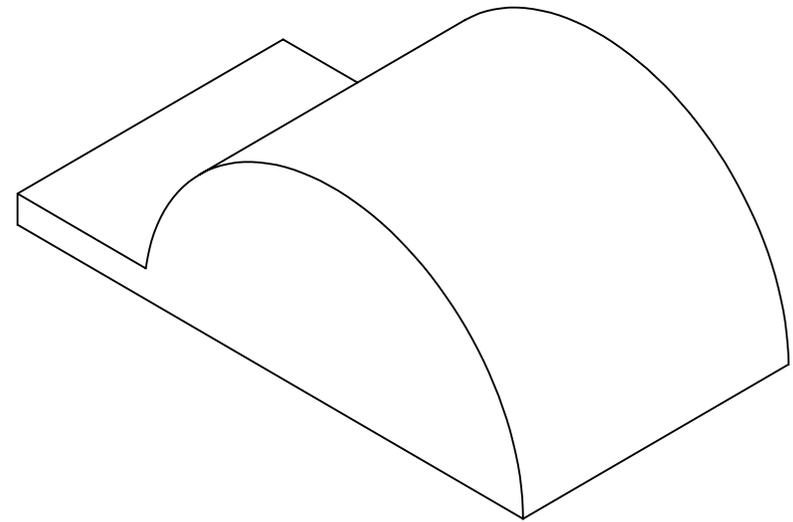
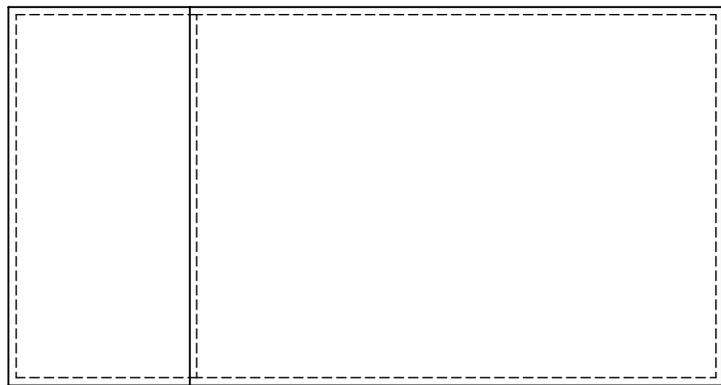
Embutido y troquelado

N.º DE DIBUJO

14

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

# Tapa motor

MATERIAL:

Acero Inoxidable

FABRICACIÓN

Corte, doblado y troquelado

N.º DE DIBUJO

16

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1

Planos Distribuidor de luz solar



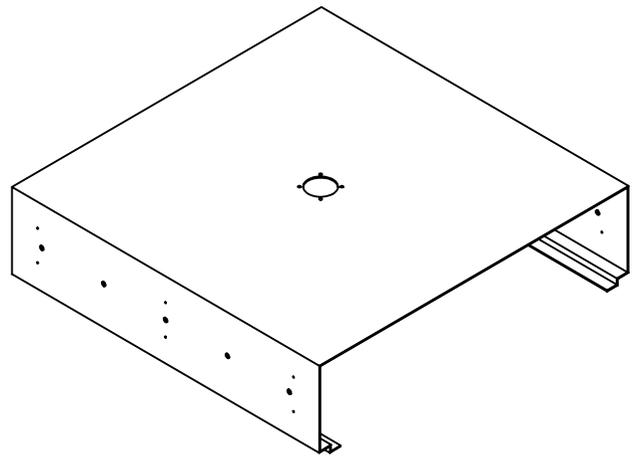
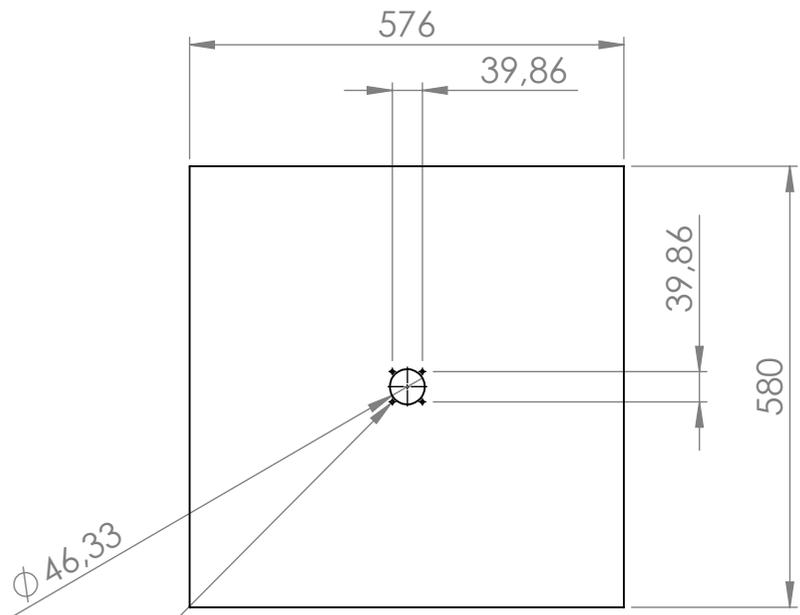
ecolux

Sistema de Iluminación Natural

1 2 3 4 5 6

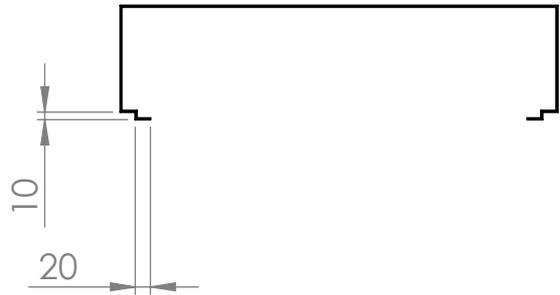
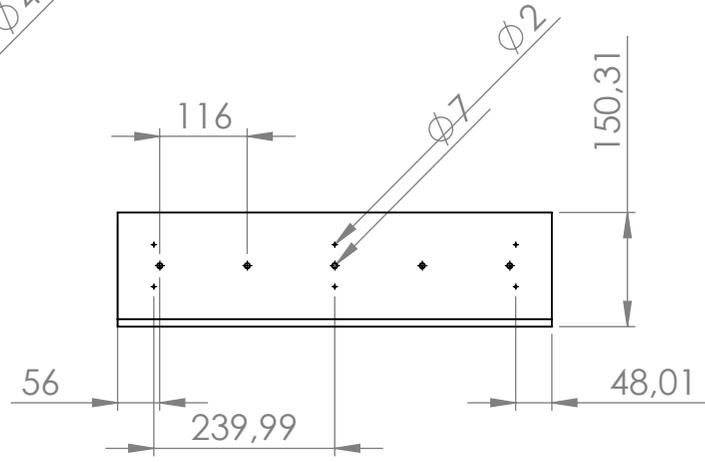
A

A



B

B



C

C

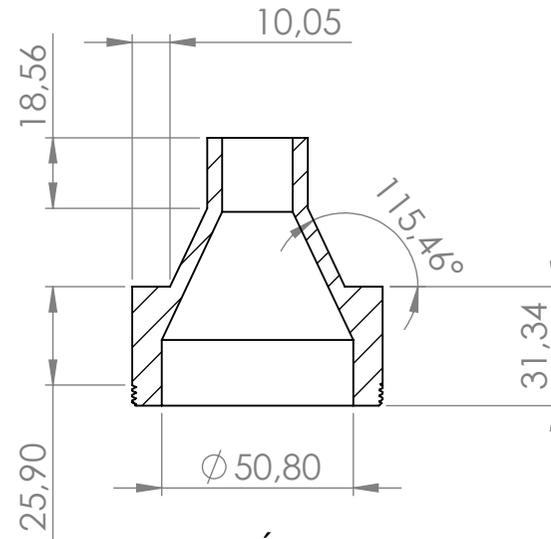
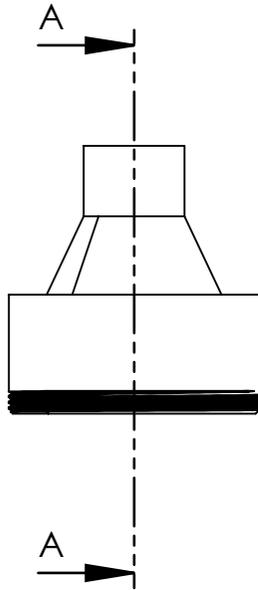
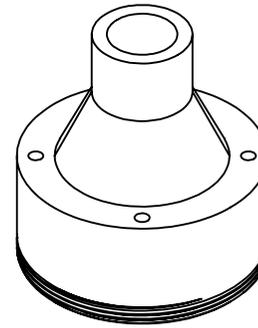
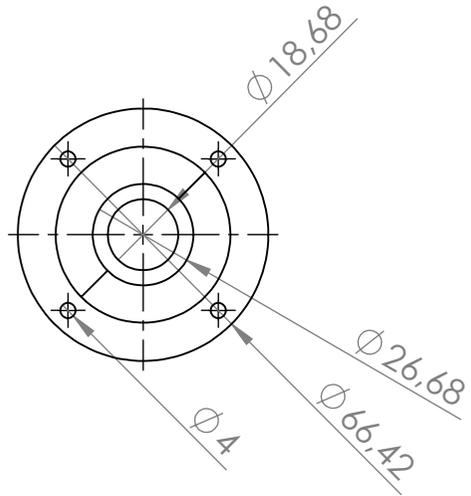
D

TÍTULO:		<h1>Carcasa luminaria</h1>	
MATERIAL:	Aluminio	FABRICACIÓN	Corte y doblado
		N.º DE DIBUJO	<h1>17</h1>
		ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1

1

2

ESCALA: 1:10 HOJA 1 DE 1



SECCIÓN A-A

TÍTULO:

# Foco de luminaria

MATERIAL:

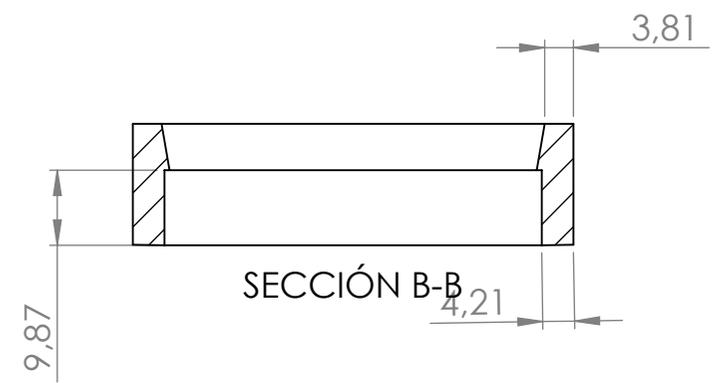
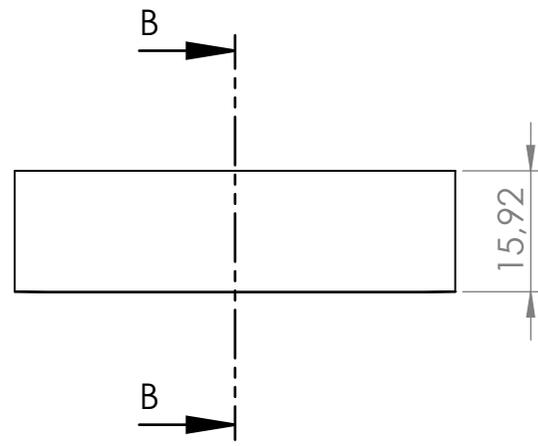
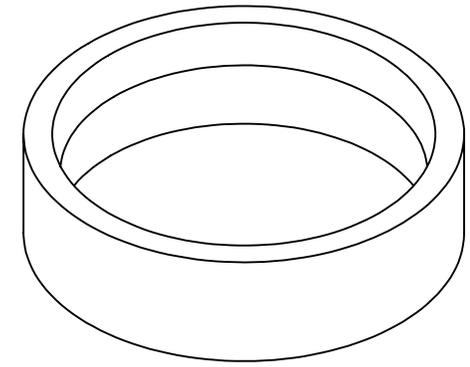
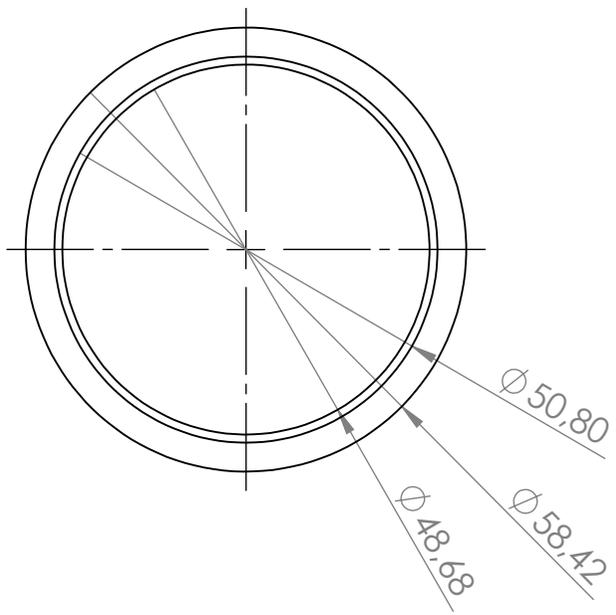
PLA

FABRICACIÓN

Impresión 3D

N.º DE DIBUJO

18



TÍTULO:

# Retenedor de lentes

MATERIAL:

PLA

FABRICACIÓN

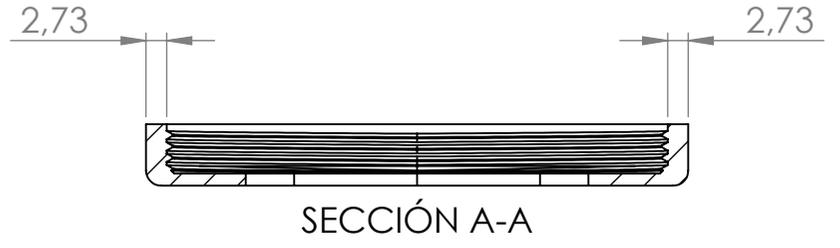
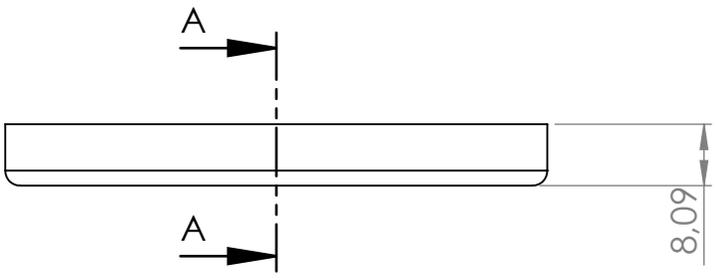
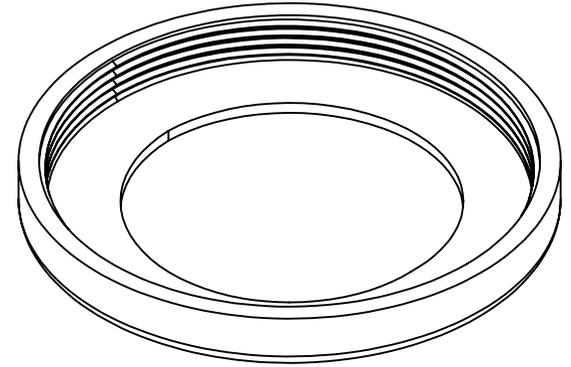
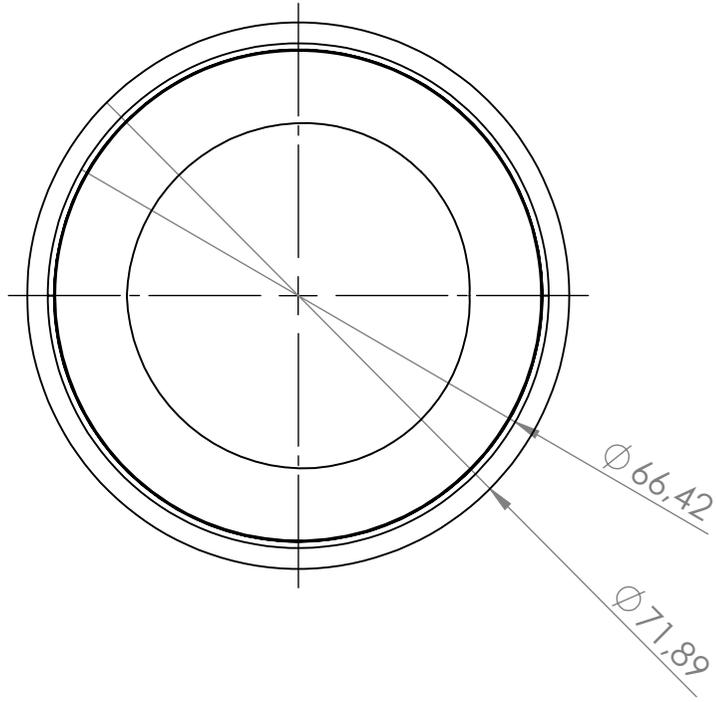
Impresión 3D

N.º DE DIBUJO

19

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:

# Tapa de Foco de luminaria

MATERIAL:

PLA

FABRICACIÓN

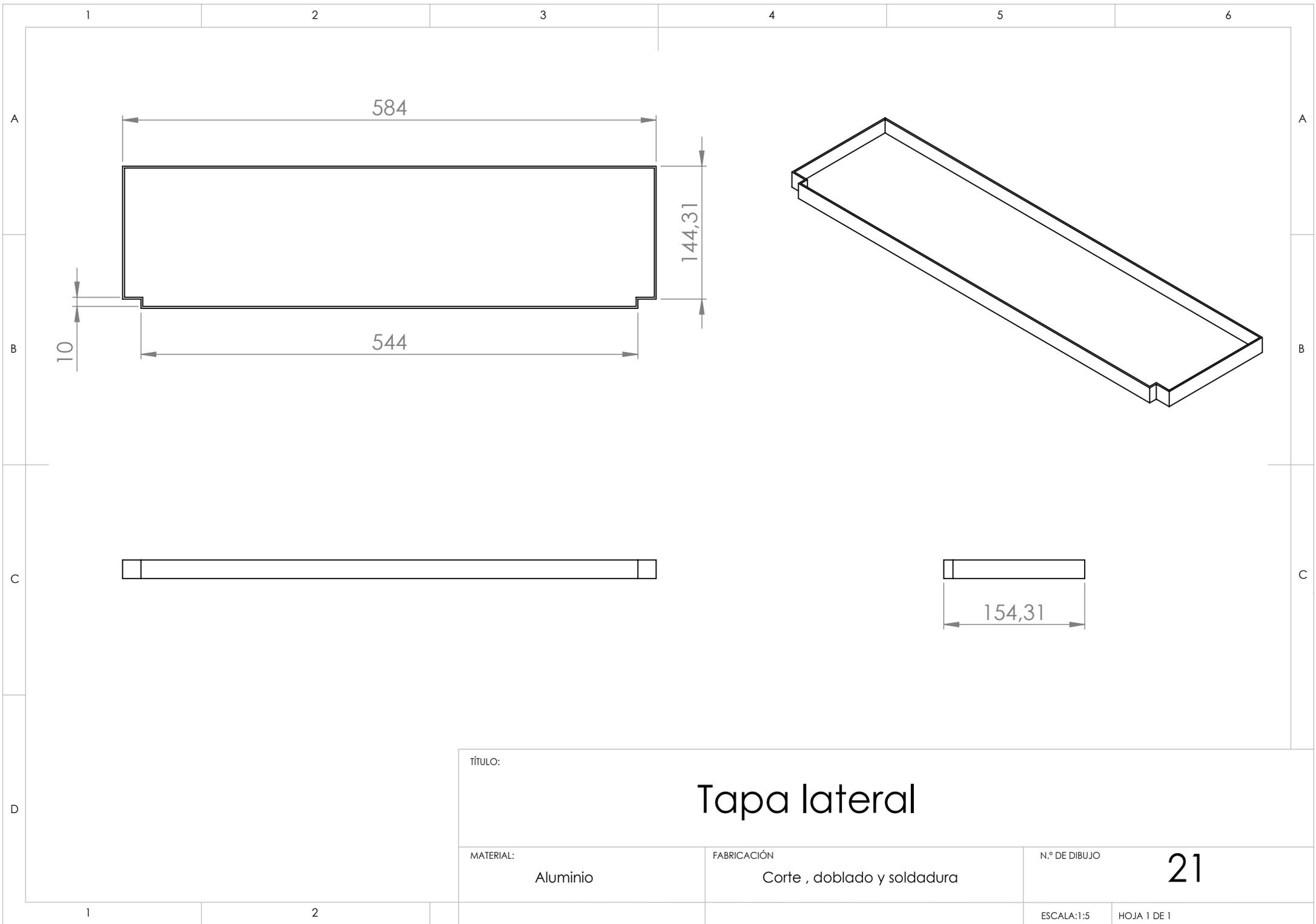
Impresión 3D

N.º DE DIBUJO

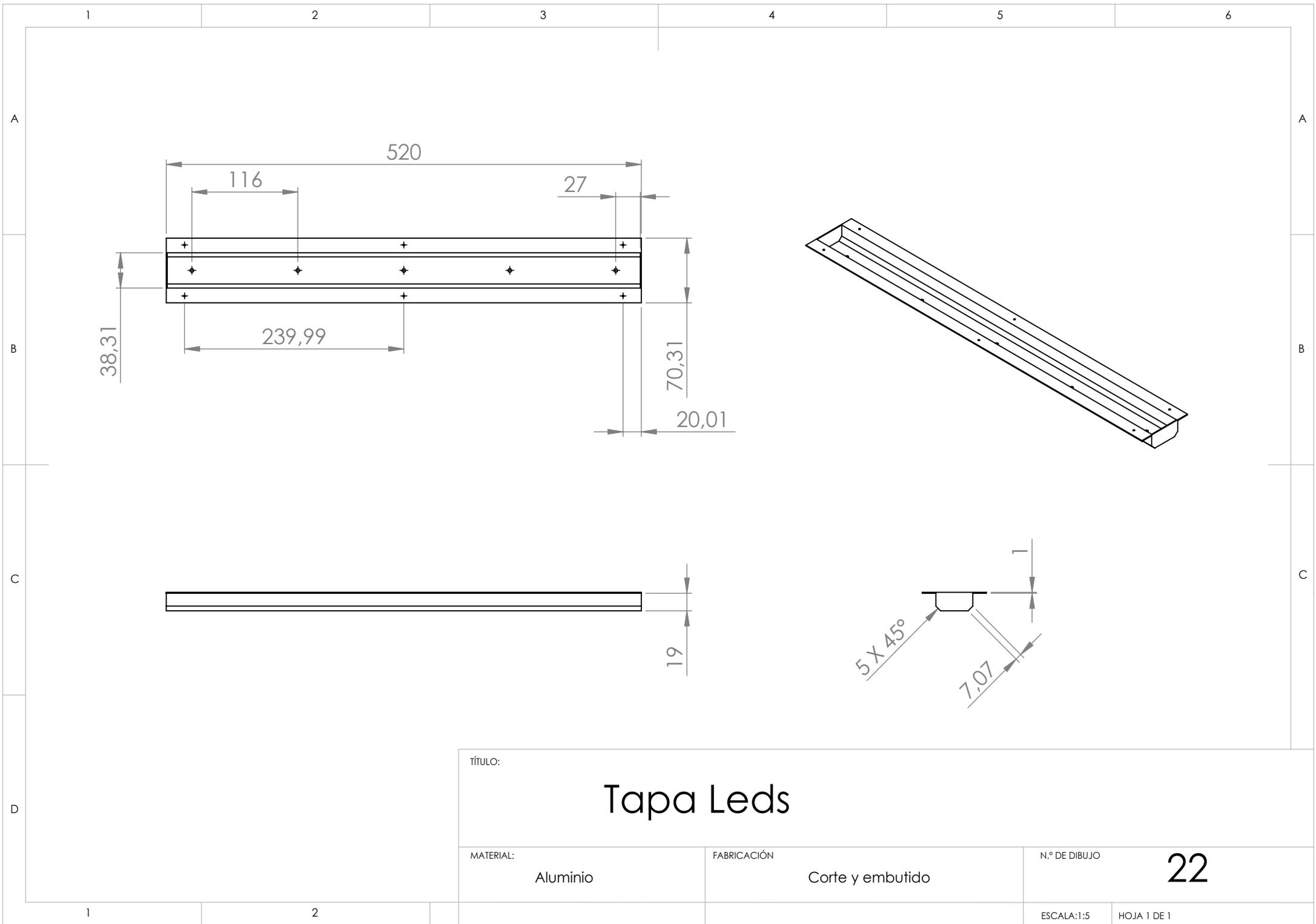
20

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1



TÍTULO:			<h1>Tapa lateral</h1>	
MATERIAL:		FABRICACIÓN		N.º DE DIBUJO
Aluminio		Corte , doblado y soldadura		<h1>21</h1>
			ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1



TÍTULO:			<h1>Tapa Leds</h1>	
MATERIAL:		FABRICACIÓN		N.º DE DIBUJO
Aluminio		Corte y embutido		<b>22</b>
ESCALA: 1:5			HOJA 1 DE 1	

Tabla de Costos

ecolux

Sistema de Iluminación Natural

# Proyecto de Investigación 5402-1412-0601

## Inventario de Componentes y piezas por adquirir

Distribuidores	Modelo	Cant.	Características	Precio (¢)
Sanyo Denki	103H6332-0340	2	Motor a pasos eje simple, 1.2°/paso. L: 51.3mm. D:eje 6.35mm	165000,00
Tornillos Toyman S.A.		2	Muñonera de pie 1/2	26672,32
Tornillos Toyman S.A.		2	Muñonera de pie 3/2	26672,32
Microcrip	PIC18F4550	4	Microcontrolador	16500,00
Toshiba	ULN2803APG	4	8ch Darlington Sink Driver	4400,00
Bourns	Bourns 3296 Costa Rica	8	Resistencia variable 10Ω-2MΩ	16500,00
Fausto Jara (Costa Rica)	L7805CV	4	Regulador de Voltaje positivo	1100,00
Teltron (Costa Rica)		20	resistencia 50Ω	2420,00
Teltron (Costa Rica)		4	resistencia 22kΩ	550,00
Teltron (Costa Rica)		12	resistencia 220Ω	1650,00
Teltron (Costa Rica)		8	resistencia 10kΩ	1100,00
Teltron (Costa Rica)		4	Capacitor Electrolítico 1uF	220,00
Teltron (Costa Rica)		28	Capacitor Cerámico 100nF	1320,00
Teltron (Costa Rica)		8	Capacitor Cerámico 15nF	1320,00
Teltron (Costa Rica)		4	Diodo IN4001	110,00
Teltron (Costa Rica)		20	Leds	880,00
Teltron (Costa Rica)		8	Fotoresistencia LDR 7MM	3850,00
El Pochote	3/4 "	1	Tubo Cuadrado Hierro Negro	2970,00
Aceros Carazo	2 mm	1	Lámina de Acero inoxidable (1,22x2,44m)	73172,00
Las Gravilias	25 x 4 mm	1	Platina de Hierro negro	4471,50
Rosco USA	Dichroic Hot Mirror	1	Filtro UV/IR	152350,00
Edmund Optics	3 "	10	Lentes Fresnel	178750,00
Sumitec S.A	6061	1	Lamina de Aluminio (1,22x58)	10780,00
Edmund Optics	2.3"	1	Lente fresnel	16225,00
Edmund Optics	50 mm	1	Lente divergente	22000,00
NOUVIR	LBRP	2	Luminarias	85800,00
NOUVIR	Multimodo 3mm PMMA	1	Fibra Optica (Rollo 500 ft)	319000,00

Subtotal

¢1.135.783,13

# Proyecto de Investigación 5402-1412-0601

## Inventario de servicios de manufactura

Distribuidores	Modelo	Cant.	Características	Precio (€)
SDP/SI	A 1B 6-N24096A	1	Engranaje helicoidal, material bronce, paso diametral 24 y d. int. 0.375in	40909,00
SDP/SI	A 1C55-N24	1	Tornillo sin fin, material acero al carbono, paso diametral 24 y d. int. 0.25in	60500,00
Taller de Precision S y L		1	Fabricación de elemento de reducción	220000,00
Materialized 3D	Impresion 3d	10	Ferrule de PLA	12729,20
All Casting		2	Fabricación de bases del colector	132000,00
Materialized 3D	Impresion 3d	1	Foco	19889,10
por definir			Carcasas del sistema	cotización pendiente

Subtotal

€486.027,30

Cálculos realizados

ecolux

Sistema de Iluminación Natural

## Cálculos realizados

Cálculo de la cantidad de luz por cada lente en lúmenes (Lm)

Datos:  $H_{bc} = 900 \text{ W/m}^2$  Valor promedio de la radiación disponible que se ha asumido

Diámetro efectivo del lente

$$D_{L1} = 2,5'' \\ = 6,4 \text{ cm}$$

$$D_{L2} = 2'' \\ = 5,08 \text{ cm}$$

Cálculo del área del lente en  $\text{m}^2$

$$A_{L1} = \pi r^2 \\ A_{L1} = \pi \cdot 0,032^2 \\ A_{L1} = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$A_{L2} = \pi r^2 \\ A_{L2} = \pi \cdot 0,025^2 \\ A_{L2} = 0,0019 \text{ m}^2$$

Cálculo de los Watts que capta cada lente (output power)

$$\frac{900 \text{ W}}{1 \text{ m}^2} = \frac{x \text{ W}}{0,0032 \text{ m}^2} \\ 2,88 \text{ W} = x$$

$$\frac{900 \text{ W}}{1 \text{ m}^2} = \frac{x \text{ W}}{0,0019 \text{ m}^2} \\ 1,71 \text{ W} = x$$

Conversión de Watts a Lúmenes

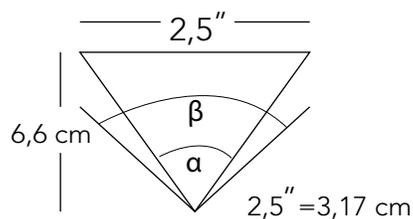
$$2,88 \text{ W} = 1967 \text{ Lm}$$

$$\text{con 10 lentes} = 19670 \text{ Lm}$$

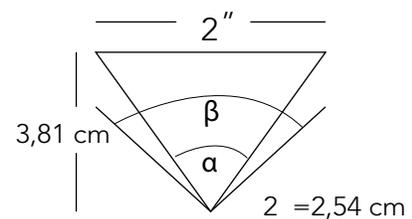
$$1,71 \text{ W} = 1167 \text{ Lm}$$

$$\text{con 12 lentes} = 14015 \text{ Lm}$$

Ángulos de aceptación de la fibra VS ángulo de concentración del lente



$$\alpha = 2 \cdot \tan^{-1} \frac{3,17 \text{ cm}}{6,6 \text{ cm}} \\ \alpha = 51,31^\circ$$



$$\alpha = 2 \cdot \tan^{-1} \frac{2,54 \text{ cm}}{3,81 \text{ cm}} \\ \alpha = 67,38^\circ$$

$\beta$  = ángulo de aceptación de la fibra     $\alpha$  = ángulo de concentración del lente

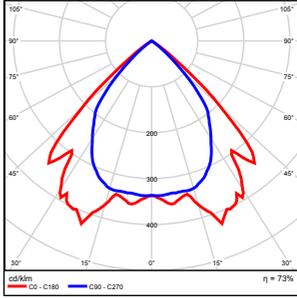
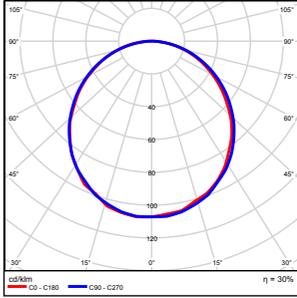
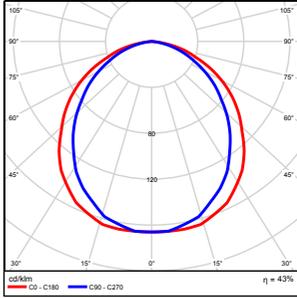
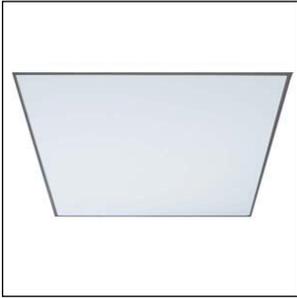
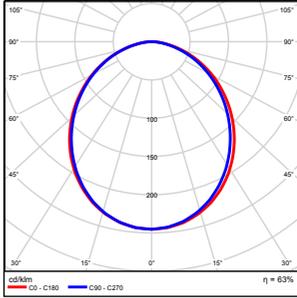
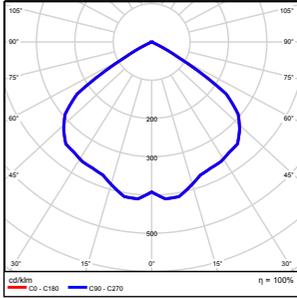


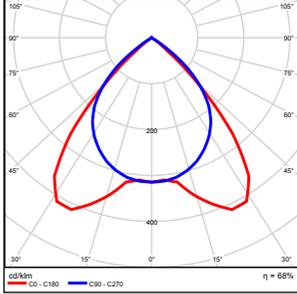
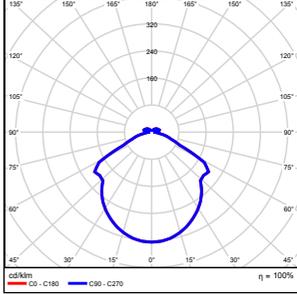
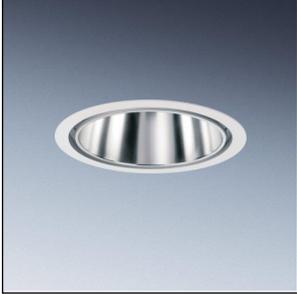
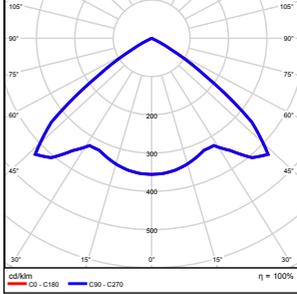
Simulaciones realizadas

ecolux

Sistema de Iluminación Natural

## Proyecto de Graduacion Melvin/Andres / Lista de luminarias

N°	Número de unidades			
1	2	BEGHELLI 77-034/218/E Apus Grado de eficacia de funcionamiento: 72.61%		
2	4	BRUMBERG o07256 Flat-Q Grado de eficacia de funcionamiento: 30.40%		
3	3	Disano Minilinea A Fosnova Minilinea A FL 1x28 CELL EL oxidado nat. Grado de eficacia de funcionamiento: 43.37%		
4	2	HavellsSylvania 2041858 Decade Recessed Modular 4x24W Grado de eficacia de funcionamiento: 63.03%		
5	4	HAVELLSSYLVANIA 2052670 LEDLED 50 12 LED STD HE 3000K SQR Grado de eficacia de funcionamiento: 99.92%		

N°	Número de unidades			
6	2	HavellsSylvania 5055750 3.4.T5 BESS12 314 Grado de eficacia de funcionamiento: 68.16%		
7	2	TRILUX Inperla C2 HR LED 2000 ww 01 + DS-M ET Inperla Grado de eficacia de funcionamiento: 99.97%		
8	4	TRILUX Inperla C2 HR LED 2000 ww 01 ET Inperla Grado de eficacia de funcionamiento: 99.91%		

Flujo luminoso total: 68760 lm, Potencia total: 970 W

## BEGHELLI 77-034/218/E Apus / Hoja de datos de luminarias

**TECHNICAL FEATURES:** rectangular recessed downlight into panel ceiling for compact fluorescent lamps 2x18W. G24d-2, with low loss ballast.

**BODY:** steel sheet finished by powder technology varnishing in white colour.

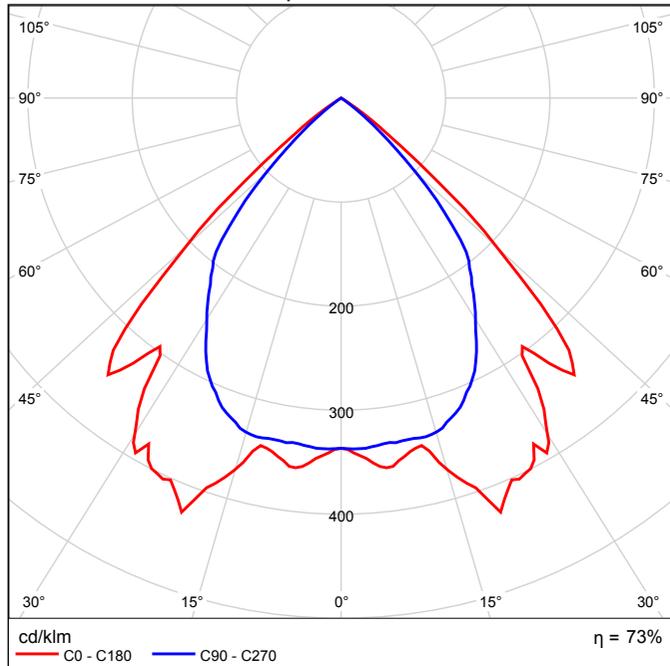
**REFLECTOR:** polished aluminium sheet.

**INSTALLATION:** in panel or plasteboard ceiling.

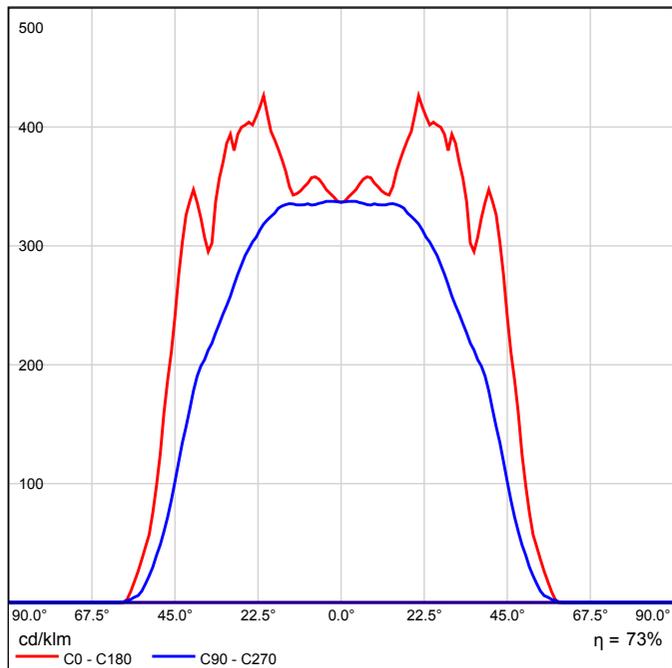
**DEGREE PROTECTION:** IP20



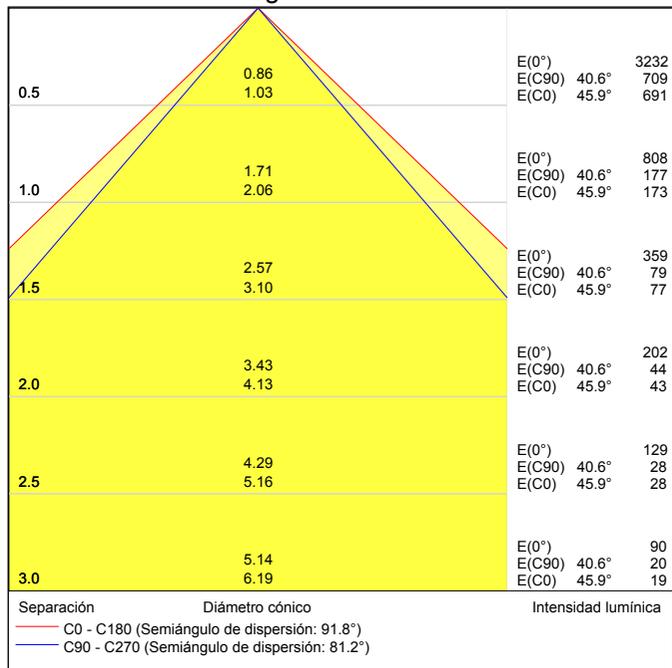
Emisión de luz 1 / CDL polar



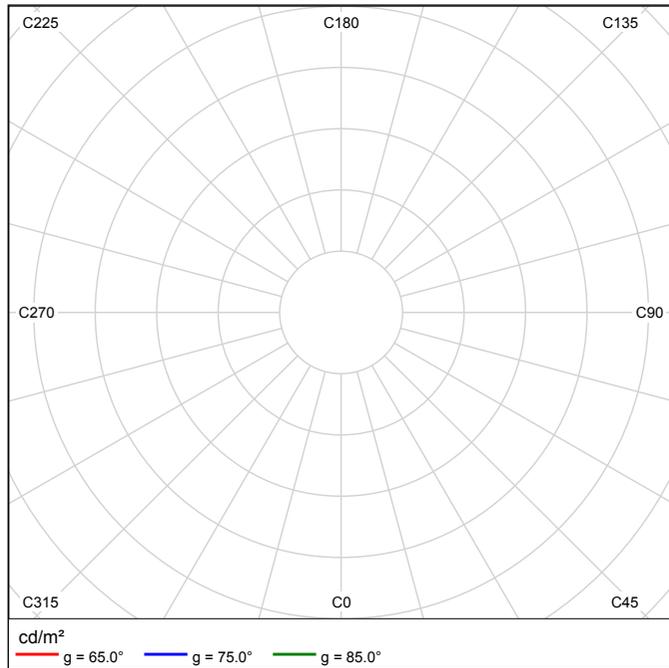
Emisión de luz 1 / CDL lineal



### Emisión de luz 1 / Diagrama conico



### Emisión de luz 1 / Diagrama de densidad lumínica

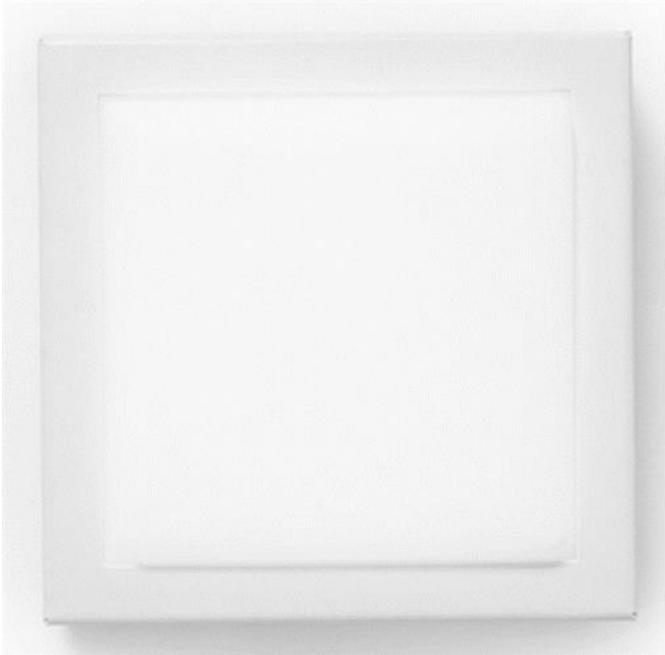


### Emisión de luz 1 / Diagrama UGR

Valoración de deslumbramiento según UGR											
Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Posición del local	X	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara				Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	20.0	20.9	20.2	21.1	21.3	17.5	18.5	17.8	18.7	18.9
	3H	19.8	20.6	20.1	20.9	21.1	17.4	18.2	17.7	18.5	18.7
	4H	19.8	20.5	20.1	20.8	21.0	17.3	18.1	17.6	18.4	18.6
	6H	19.7	20.4	20.0	20.7	21.0	17.3	18.0	17.6	18.2	18.5
	8H	19.6	20.3	20.0	20.6	20.9	17.2	17.9	17.6	18.2	18.5
4H	12H	19.6	20.2	20.0	20.6	20.9	17.2	17.8	17.5	18.1	18.4
	2H	19.8	20.5	20.1	20.8	21.1	17.4	18.2	17.7	18.4	18.7
	3H	19.6	20.3	20.0	20.6	20.9	17.3	17.9	17.6	18.2	18.5
	4H	19.6	20.1	19.9	20.4	20.8	17.2	17.7	17.6	18.1	18.4
	6H	19.5	20.0	19.9	20.3	20.7	17.1	17.6	17.5	17.9	18.3
8H	8H	19.5	19.9	19.9	20.3	20.7	17.1	17.5	17.5	17.9	18.3
	12H	19.4	19.8	19.8	20.2	20.6	17.0	17.4	17.5	17.8	18.2
	4H	19.5	19.9	19.9	20.3	20.7	17.1	17.5	17.5	17.9	18.3
	6H	19.4	19.7	19.8	20.1	20.6	17.0	17.3	17.4	17.7	18.2
	8H	19.3	19.6	19.8	20.1	20.5	16.9	17.2	17.4	17.7	18.1
12H	12H	19.3	19.5	19.8	20.0	20.5	16.9	17.1	17.4	17.6	18.1
	4H	19.4	19.8	19.8	20.2	20.6	17.0	17.4	17.5	17.8	18.2
	6H	19.3	19.6	19.8	20.1	20.5	16.9	17.2	17.4	17.7	18.1
8H	19.3	19.5	19.8	20.0	20.5	16.9	17.1	17.4	17.6	18.1	
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+2.9 / -9.2				+3.1 / -13.3						
S = 1.5H	+4.6 / -98.4				+4.3 / -96.0						
S = 2.0H	+6.6 / -96.4				+5.7 / -94.0						
Tabla estándar	BK00				BK00						
Factor de corrección	0.2				-2.2						
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 2400lm Flujo luminoso total											

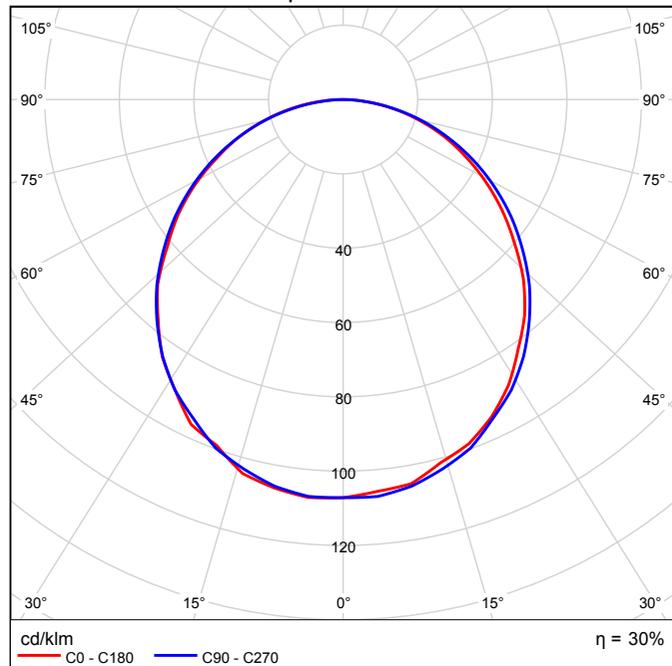
Los valores UGR se calculan según CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25

## BRUMBERG o07256 Flat-Q / Hoja de datos de luminarias

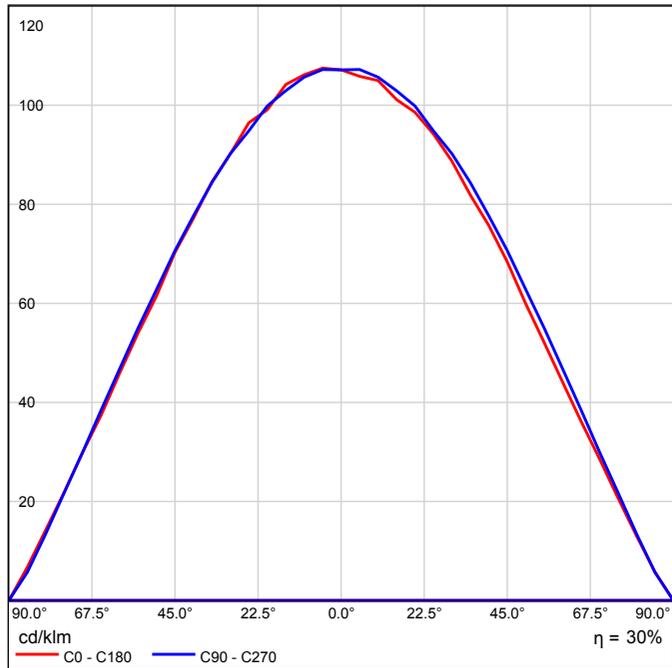


Deckenanbauleuchte  
 Material: Metal  
 Farbe: Nickel  
 Schutzklasse: I  
 Schutzart: IP30  
 Anschluß: 230V  
 Maße (L / B / H): 300 / 300 / 80 mm

### Emisión de luz 1 / CDL polar

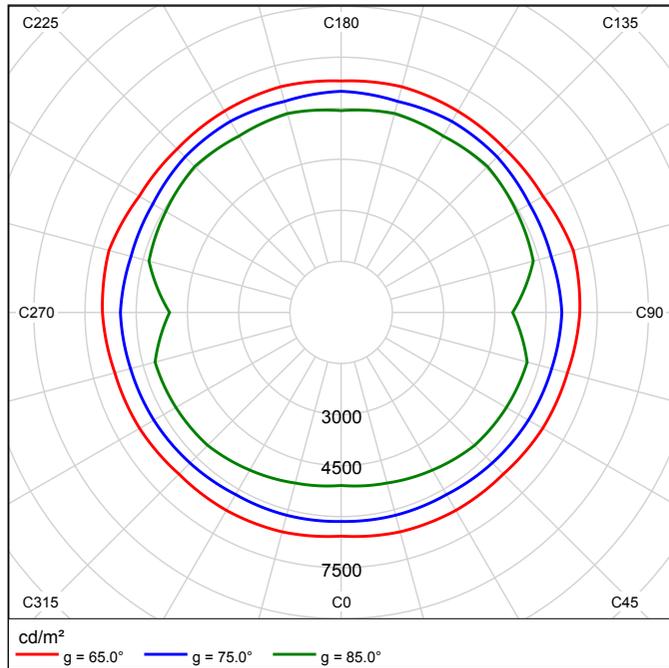


### Emisión de luz 1 / CDL lineal



No se puede crear un diagrama de cono porque la distribución luminosa es asimétrica.

Emisión de luz 1 / Diagrama de densidad lumínica



## Disano Minilinea A Fosnova Minilinea A FL 1x28 CELL EL oxidado nat. / Hoja de datos de luminarias



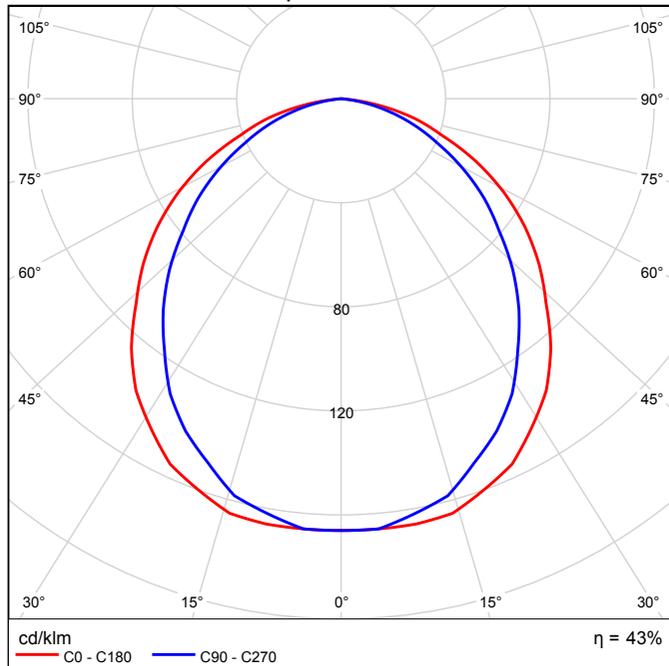
Lámpara para empotrar o para colgar lineal para la iluminación directa. Se presenta completamente neutra, pero al mismo tiempo reproduce un efecto elegante en el espacio. Encuentra aplicaciones en las oficinas y es apropiada también para las superficies individuales de trabajo o casas particulares.

Cuerpo: de aluminio extrudido.

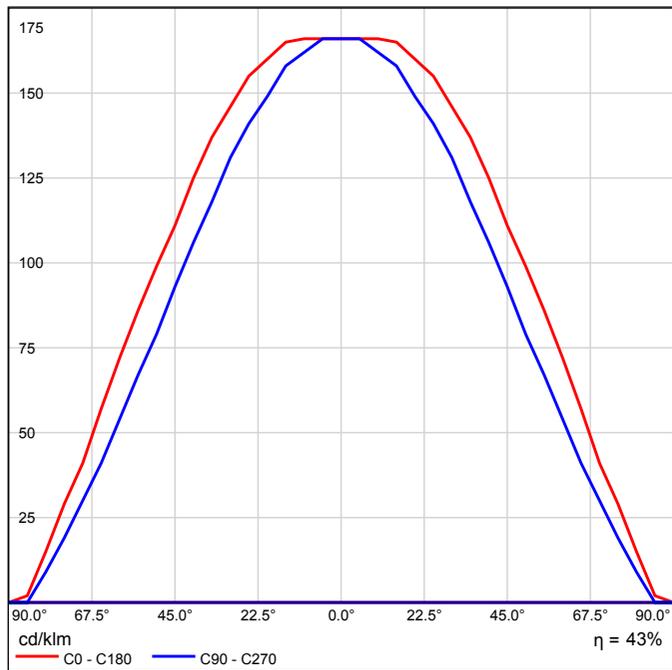
Difusor: de policarbonato con estructura prismática.

Equipamiento: se suministra con elementos para la suspensión (cables de acero y arandelas).

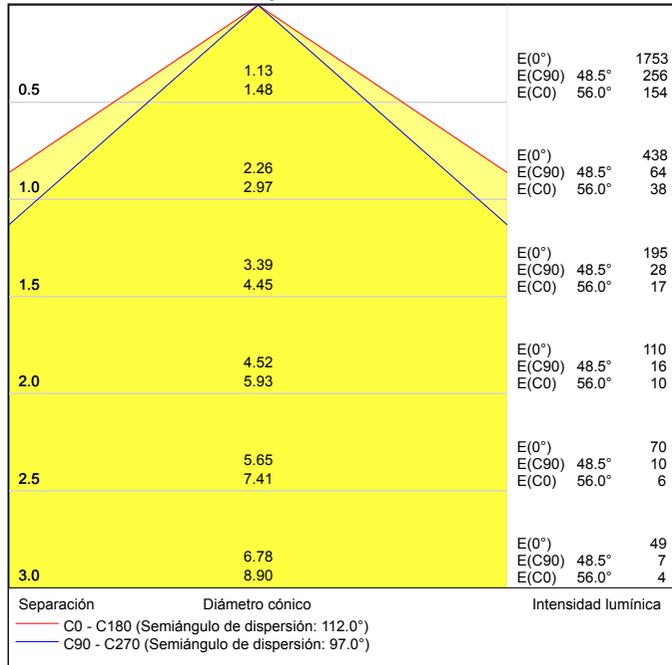
### Emisión de luz 1 / CDL polar



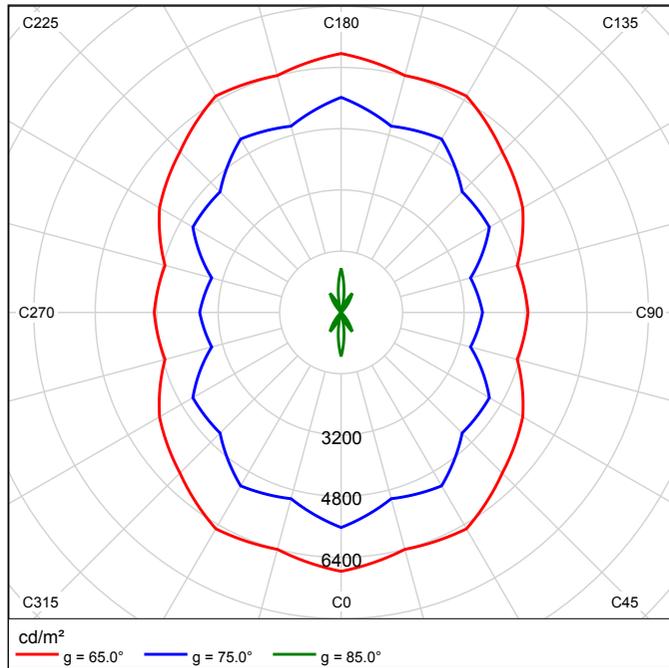
### Emisión de luz 1 / CDL lineal



### Emisión de luz 1 / Diagrama conico



### Emisión de luz 1 / Diagrama de densidad lumínica



### Emisión de luz 1 / Diagrama UGR

Valoración de deslumbramiento según UGR											
Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Posición del local	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
X	Y										
2H	2H	19.7	21.0	20.0	21.2	21.4	18.5	19.7	18.8	20.0	20.2
	3H	21.1	22.2	21.4	22.5	22.8	19.6	20.7	19.9	21.0	21.3
	4H	21.6	22.7	22.0	23.0	23.3	20.0	21.1	20.3	21.3	21.6
	6H	22.0	23.0	22.3	23.3	23.6	20.2	21.2	20.5	21.5	21.8
	8H	22.0	23.0	22.4	23.3	23.6	20.2	21.2	20.6	21.5	21.8
	12H	22.0	22.9	22.4	23.3	23.6	20.2	21.1	20.6	21.4	21.7
4H	2H	20.2	21.3	20.6	21.6	21.9	19.3	20.3	19.6	20.6	20.9
	3H	21.8	22.7	22.2	23.1	23.4	20.6	21.5	21.0	21.8	22.1
	4H	22.5	23.3	22.9	23.6	24.0	21.1	21.9	21.5	22.2	22.6
	6H	22.9	23.6	23.3	24.0	24.4	21.4	22.0	21.8	22.4	22.8
	8H	23.0	23.6	23.4	24.0	24.5	21.4	22.0	21.8	22.4	22.8
	12H	23.0	23.6	23.5	24.0	24.4	21.4	21.9	21.8	22.4	22.8
8H	4H	22.7	23.3	23.1	23.7	24.1	21.4	22.0	21.8	22.4	22.8
	6H	23.2	23.7	23.7	24.2	24.6	21.8	22.3	22.3	22.7	23.2
	8H	23.3	23.8	23.8	24.2	24.7	21.9	22.3	22.3	22.8	23.2
	12H	23.3	23.7	23.8	24.2	24.7	21.8	22.2	22.3	22.7	23.2
	12H	23.3	23.7	23.8	24.2	24.7	21.8	22.2	22.3	22.7	23.2
12H	4H	22.7	23.2	23.1	23.7	24.1	21.4	22.0	21.9	22.4	22.8
	6H	23.2	23.7	23.7	24.1	24.6	21.8	22.3	22.3	22.7	23.2
	8H	23.4	23.7	23.9	24.2	24.7	21.9	22.3	22.4	22.8	23.3
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+0.1 / -0.1					+0.1 / -0.2					
S = 1.5H	+0.2 / -0.3					+0.4 / -0.5					
S = 2.0H	+0.5 / -0.7					+0.6 / -1.1					
Tabla estándar	BK05					BK04					
Factor de corrección	3.1					1.2					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 2640lm Flujo luminoso total											

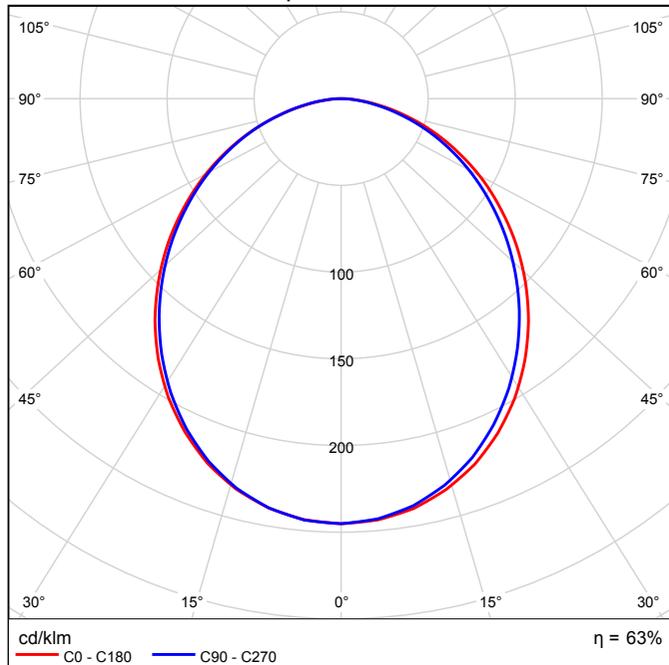
Los valores UGR se calculan según CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25

## HavellsSylvania 2041858 Decade Recessed Modular 4x24W / Hoja de datos de luminarias

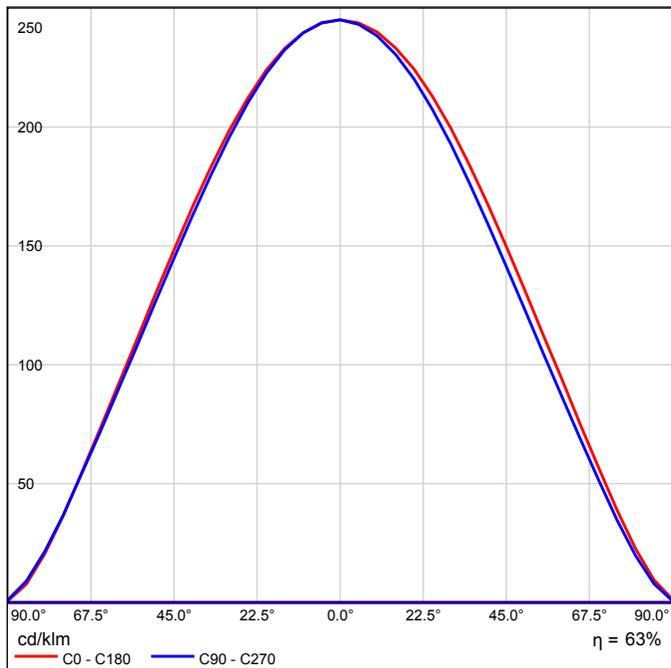
High Quality architectural finish and light distribution  
 Even light distribution from the diffusing panel  
 63% LOR without visibility of lamps  
 Recessed Lay-in. Draw-up accessory kit also available  
 Plaster edge version for trimless integration into ceiling/wall  
 Box accessory available for surface mounting/suspension



Emisión de luz 1 / CDL polar

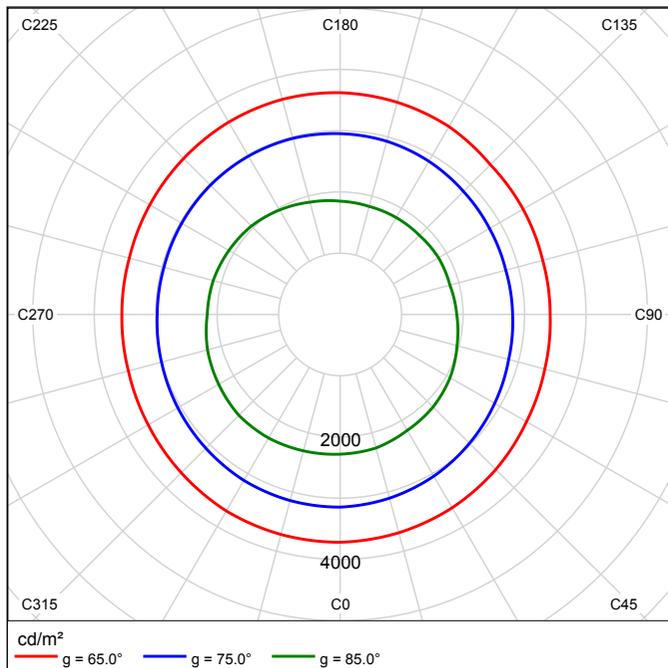


Emisión de luz 1 / CDL lineal



No se puede crear un diagrama de cono porque la distribución luminosa es asimétrica.

Emisión de luz 1 / Diagrama de densidad lumínica



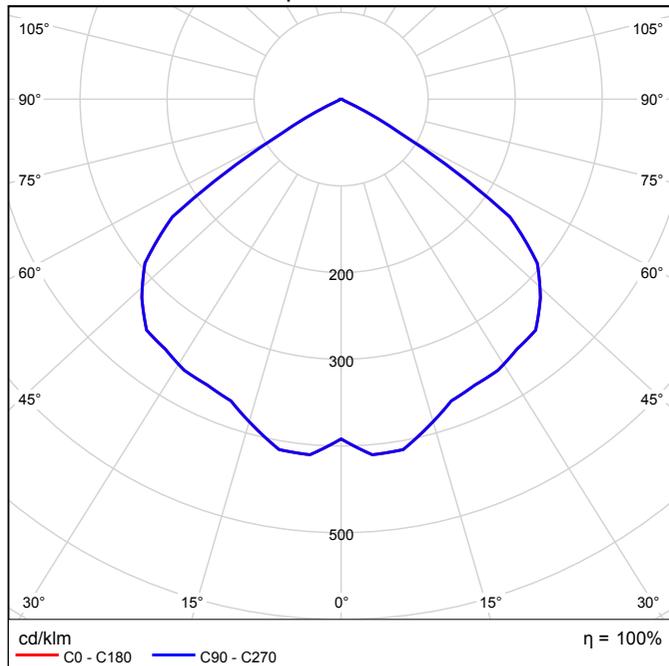
No se puede crear un diagrama UGR porque la distribución luminosa es asimétrica.

## HAVELLSSYLVANIA 2052670 LEDLED 50 12 LED STD HE 3000K SQR / Hoja de datos de luminarias

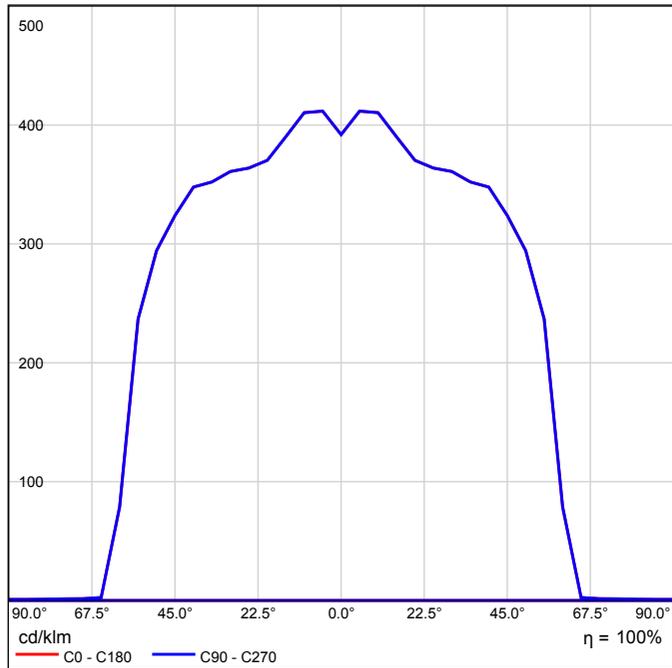


- Super slim highly efficient LED downlight with only 50mm recessing depth
- A true economic and efficient replacement for existing CF-L downlights
- Provides optimum efficiency with up to 90 lumens per circuit watt
- Long life, 50,000 hours plus @ 70% luminous flux, fit and forget maintenance free lighting solution
- Using new XLamp technology from CREE
- 3000K & 4000K CCT options typical CRI Ra80
- Round and Square Die Cast Housing options available
- Uniformity of design with the same housing 120mm aperture for all options  
(high efficiency, standard output, high output & very high output)

### Emisión de luz 1 / CDL polar



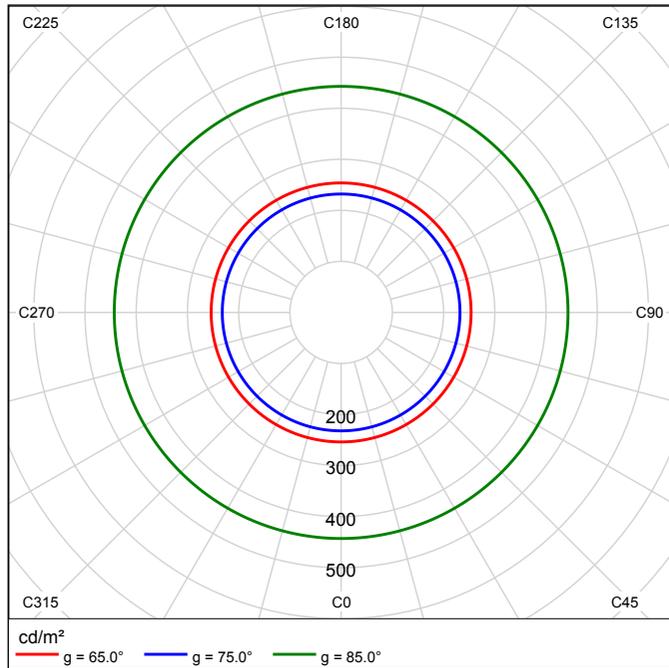
### Emisión de luz 1 / CDL lineal



### Emisión de luz 1 / Diagrama conico

0.5	1.48	E(0°) E(C0)	55.9°	1513 142
1.0	2.95	E(0°) E(C0)	55.9°	378 35
1.5	4.43	E(0°) E(C0)	55.9°	168 16
2.0	5.91	E(0°) E(C0)	55.9°	95 9
2.5	7.38	E(0°) E(C0)	55.9°	61 6
3.0	8.86	E(0°) E(C0)	55.9°	42 4
Separación		Diámetro cónico		Intensidad luminica
— C0 - C180 (Semiángulo de dispersión: 111.8°)				

### Emisión de luz 1 / Diagrama de densidad lumínica



### Emisión de luz 1 / Diagrama UGR

Valoración de deslumbramiento según UGR												
Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30		
Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30		
Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
Posición del local	X	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara				Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
2H	2H		22.0	23.1	22.3	23.3	23.6	22.0	23.1	22.3	23.3	23.6
	3H		21.8	22.8	22.1	23.1	23.3	21.8	22.8	22.1	23.1	23.3
	4H		21.7	22.7	22.1	23.0	23.2	21.7	22.7	22.1	23.0	23.2
	6H		21.7	22.5	22.0	22.8	23.1	21.7	22.5	22.0	22.8	23.1
	8H		21.6	22.5	22.0	22.8	23.1	21.6	22.5	22.0	22.8	23.1
	12H		21.6	22.4	22.0	22.7	23.0	21.6	22.4	22.0	22.7	23.0
4H	2H		22.0	22.9	22.3	23.2	23.5	22.0	22.9	22.3	23.2	23.5
	3H		21.8	22.6	22.2	22.9	23.3	21.8	22.6	22.2	22.9	23.3
	4H		21.8	22.4	22.2	22.8	23.1	21.8	22.4	22.2	22.8	23.1
	6H		21.7	22.3	22.1	22.7	23.0	21.7	22.3	22.1	22.7	23.0
	8H		21.7	22.2	22.1	22.6	23.0	21.7	22.2	22.1	22.6	23.0
	12H		21.6	22.1	22.1	22.5	22.9	21.6	22.1	22.1	22.5	22.9
8H	4H		21.7	22.2	22.1	22.6	23.0	21.7	22.2	22.1	22.6	23.0
	6H		21.6	22.0	22.0	22.4	22.9	21.6	22.0	22.0	22.4	22.9
	8H		21.5	21.9	22.0	22.4	22.8	21.5	21.9	22.0	22.4	22.8
	12H		21.5	21.8	22.0	22.3	22.8	21.5	21.8	22.0	22.3	22.8
12H	4H		21.6	22.1	22.1	22.5	22.9	21.6	22.1	22.1	22.5	22.9
	6H		21.5	21.9	22.0	22.4	22.8	21.5	21.9	22.0	22.4	22.8
	8H		21.5	21.8	22.0	22.3	22.8	21.5	21.8	22.0	22.3	22.8
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias												
S = 1.0H	+0.9 / -1.1				+0.9 / -1.1							
S = 1.5H	+2.6 / -10.3				+2.6 / -10.3							
S = 2.0H	+3.7 / -21.7				+3.7 / -21.7							
Tabla estándar	BK00				BK00							
Factor de corrección	3.6				3.6							
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 965lm Flujo luminoso total												

Los valores UGR se calculan según CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25

## HavellsSylvania 5055750 3.4.T5 BESS12 314 / Hoja de datos de luminarias



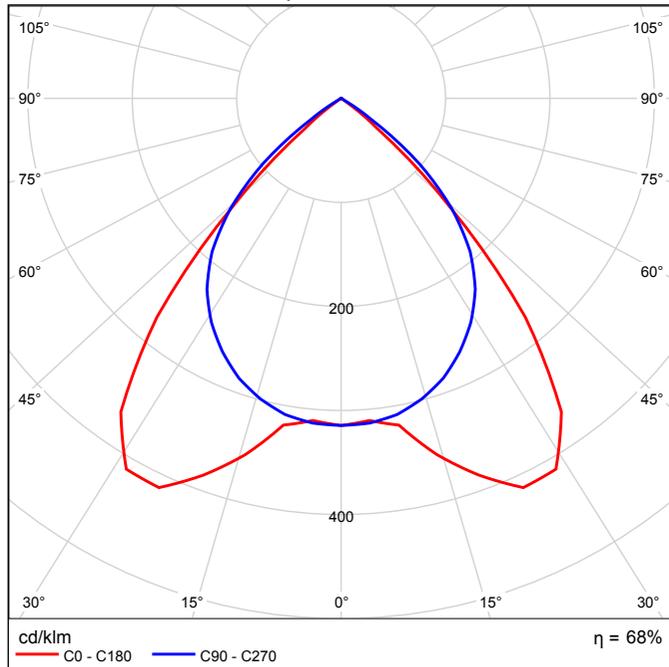
A basic recessed fluorescent fitting for general purpose applications with fast MPM connection. The security cable and lamps are included. This luminaire which can be installed without removing either lamps or louvre.

White painted 0,8mm sheet steel body.

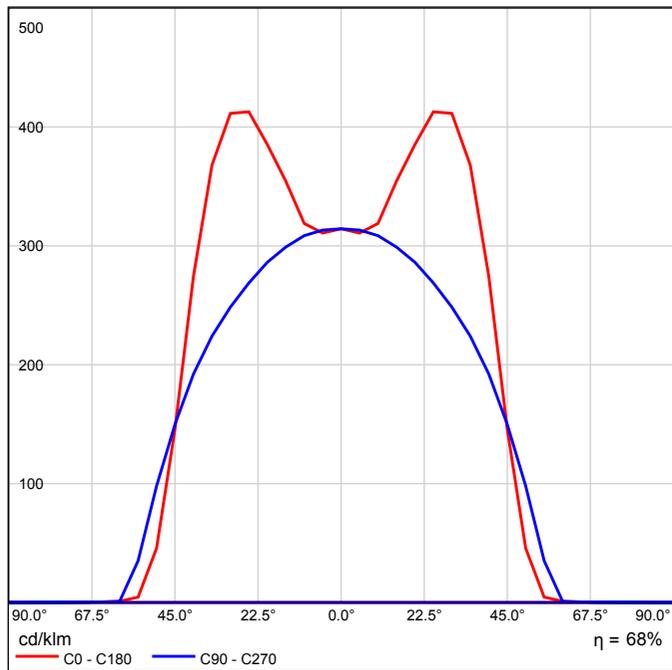
BESS12 Optic Description :  
Brilliant aluminium tri-dimensional optic  
 $L < 500 \text{ cd/m}^2$  at  $\gamma = 65^\circ$

Application :  
Offices with display screen, drawing rooms, meeting rooms, school permises, bank counters, public buildings...

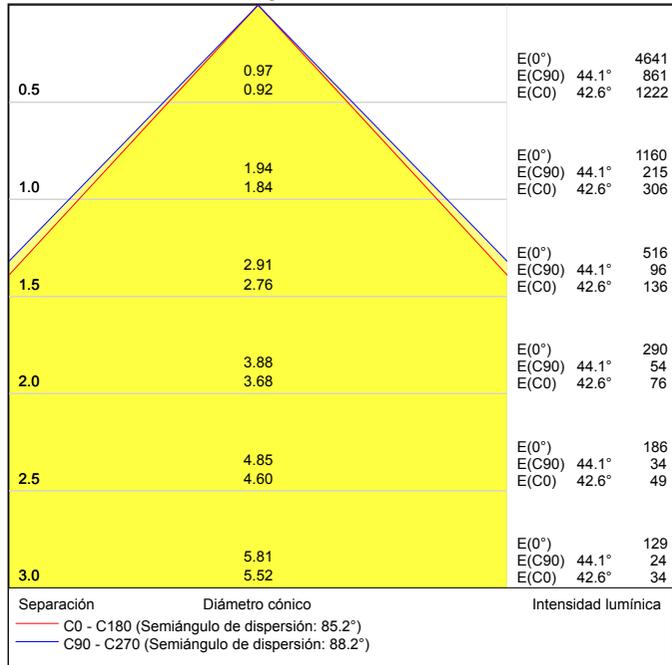
### Emisión de luz 1 / CDL polar



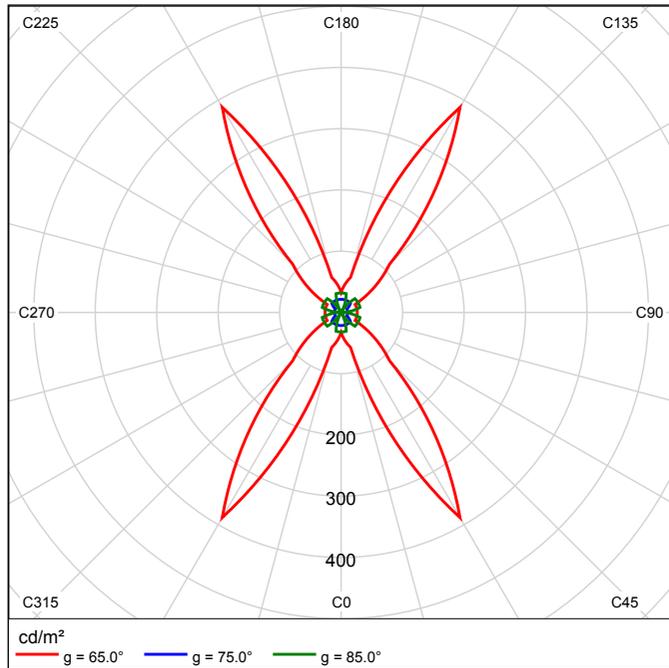
### Emisión de luz 1 / CDL lineal



### Emisión de luz 1 / Diagrama conico



### Emisión de luz 1 / Diagrama de densidad lumínica



### Emisión de luz 1 / Diagrama UGR

Valoración de deslumbramiento según UGR											
Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Posición del local	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
X	Y										
2H	2H	16.8	17.7	17.0	17.9	18.1	16.4	17.4	16.7	17.6	17.8
	3H	16.6	17.4	16.9	17.7	17.9	16.3	17.1	16.6	17.4	17.6
	4H	16.5	17.3	16.9	17.6	17.8	16.2	17.0	16.5	17.2	17.5
	6H	16.5	17.2	16.8	17.5	17.8	16.1	16.8	16.5	17.1	17.4
	8H	16.4	17.1	16.8	17.4	17.7	16.1	16.8	16.4	17.1	17.4
	12H	16.4	17.0	16.7	17.3	17.7	16.1	16.7	16.4	17.0	17.3
4H	2H	16.7	17.5	17.0	17.7	18.0	16.3	17.1	16.6	17.4	17.6
	3H	16.5	17.2	16.9	17.5	17.8	16.2	16.8	16.5	17.1	17.5
	4H	16.5	17.0	16.8	17.4	17.7	16.1	16.7	16.5	17.0	17.4
	6H	16.4	16.9	16.8	17.2	17.6	16.0	16.5	16.4	16.9	17.3
	8H	16.3	16.8	16.8	17.2	17.6	16.0	16.4	16.4	16.8	17.2
	12H	16.3	16.7	16.7	17.1	17.5	16.0	16.3	16.4	16.7	17.2
8H	4H	16.3	16.8	16.8	17.2	17.6	16.0	16.4	16.4	16.8	17.2
	6H	16.3	16.6	16.7	17.0	17.5	15.9	16.3	16.4	16.7	17.1
	8H	16.2	16.5	16.7	17.0	17.4	15.9	16.2	16.3	16.6	17.1
	12H	16.2	16.4	16.7	16.9	17.4	15.8	16.1	16.3	16.5	17.0
12H	4H	16.3	16.7	16.7	17.1	17.5	16.0	16.3	16.4	16.7	17.2
	6H	16.2	16.5	16.7	17.0	17.4	15.9	16.2	16.3	16.6	17.1
	8H	16.2	16.4	16.7	16.9	17.4	15.8	16.1	16.3	16.5	17.0
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+2.3 / -8.9					+2.0 / -4.9					
S = 1.5H	+3.5 / -22.8					+3.7 / -28.4					
S = 2.0H	+5.2 / -29.9					+4.6 / -31.6					
Tabla estándar	BK00					BK00					
Factor de corrección	-3.1					-3.5					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 3690lm Flujo luminoso total											

Los valores UGR se calculan según CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25

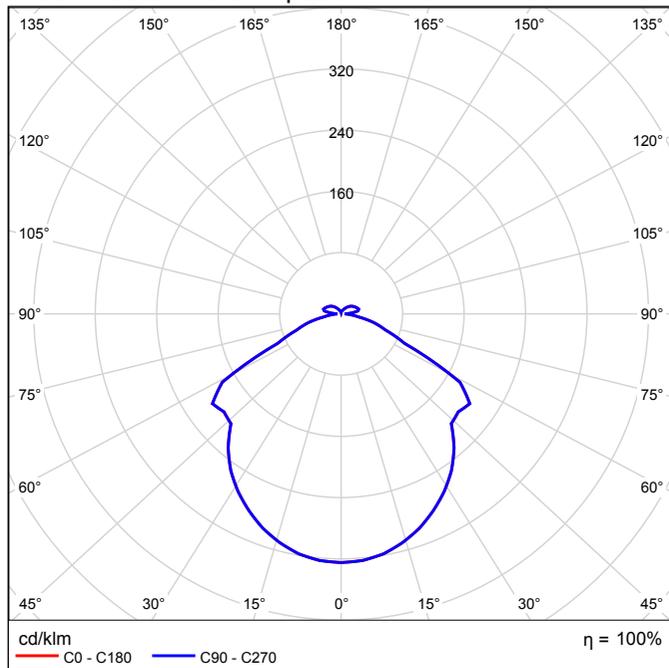
## TRILUX Inperla C2 HR LED 2000 ww 01 + DS-M ET Inperla / Hoja de datos de luminarias



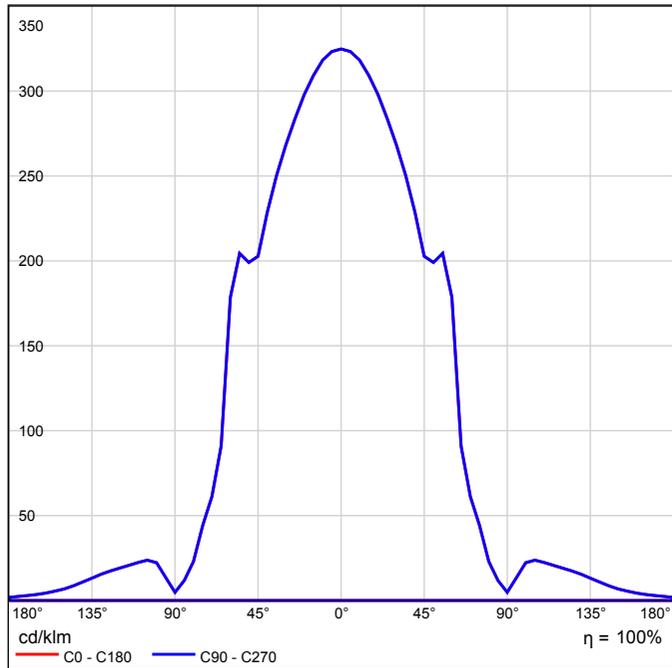
### Inperla C2 HR LED2000ww ET 01:

Round LED recessed downlight. With one high performance LED module 2000 lm. Recessed ceiling installation via rapid-mounting springs. Can be inserted without tools after frame mounting. For ceiling cut-out 210 mm. Recess depth 145 mm. Highly specular reflector. Luminaire luminous flux 1900 lm, Connected load 28 Watt, Luminous efficiency of luminaire 68 lm/W. Light colour warm white (ww), colour temperature 3000 K. Colour rendering index RA > 80. Sheet steel luminaire body, powder-coated solvent-free. Ceiling mounting ring of die-cast zinc, with rectangular sectional profile. Shadow gap between bezel ring and reflector rim for accommodation of covers. With white ceiling ring. With electronic transformer.

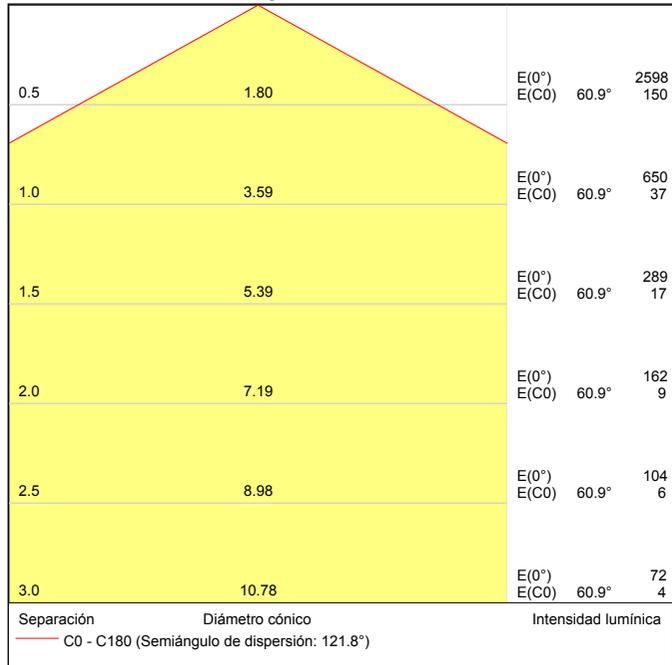
### Emisión de luz 1 / CDL polar



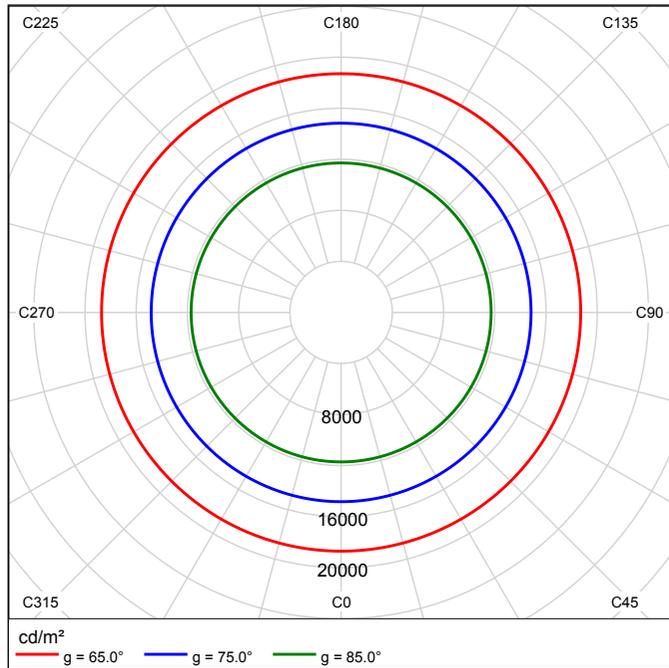
### Emisión de luz 1 / CDL lineal



### Emisión de luz 1 / Diagrama conico



### Emisión de luz 1 / Diagrama de densidad lumínica



### Emisión de luz 1 / Diagrama UGR

Valoración de deslumbramiento según UGR											
Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
X	Y										
2H	2H	24.2	25.3	24.6	25.7	26.2	24.2	25.3	24.6	25.7	26.2
	3H	24.8	25.9	25.3	26.3	26.8	24.8	25.9	25.3	26.3	26.8
	4H	25.1	26.1	25.6	26.6	27.0	25.1	26.1	25.6	26.6	27.0
	6H	25.3	26.2	25.8	26.7	27.2	25.3	26.2	25.8	26.7	27.2
	8H	25.4	26.2	25.9	26.7	27.2	25.4	26.2	25.9	26.7	27.2
	12H	25.4	26.2	25.9	26.7	27.3	25.4	26.2	25.9	26.7	27.3
4H	2H	24.6	25.6	25.1	26.1	26.5	24.6	25.6	25.1	26.1	26.5
	3H	25.4	26.3	25.9	26.7	27.3	25.4	26.3	25.9	26.7	27.3
	4H	25.8	26.6	26.4	27.1	27.6	25.8	26.6	26.4	27.1	27.6
	6H	26.1	26.7	26.7	27.3	27.9	26.1	26.7	26.7	27.3	27.9
	8H	26.2	26.8	26.8	27.3	27.9	26.2	26.8	26.8	27.3	27.9
	12H	26.3	26.8	26.9	27.4	28.0	26.3	26.8	26.9	27.4	28.0
8H	4H	25.9	26.5	26.5	27.1	27.7	25.9	26.5	26.5	27.1	27.7
	6H	26.3	26.8	26.9	27.4	28.0	26.3	26.8	26.9	27.4	28.0
	8H	26.4	26.9	27.1	27.5	28.1	26.4	26.9	27.1	27.5	28.1
	12H	26.6	26.9	27.2	27.6	28.3	26.6	26.9	27.2	27.6	28.3
12H	4H	25.9	26.5	26.5	27.0	27.7	25.9	26.5	26.5	27.0	27.7
	6H	26.3	26.7	26.9	27.3	28.0	26.3	26.7	26.9	27.3	28.0
	8H	26.5	26.8	27.1	27.5	28.2	26.5	26.8	27.1	27.5	28.2
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+0.4 / -0.2					+0.4 / -0.2					
S = 1.5H	+0.9 / -0.7					+0.9 / -0.7					
S = 2.0H	+1.4 / -1.7					+1.4 / -1.7					
Tabla estándar	BK03					BK03					
Factor de corrección	8.9					8.9					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 2000lm Flujo luminoso total											

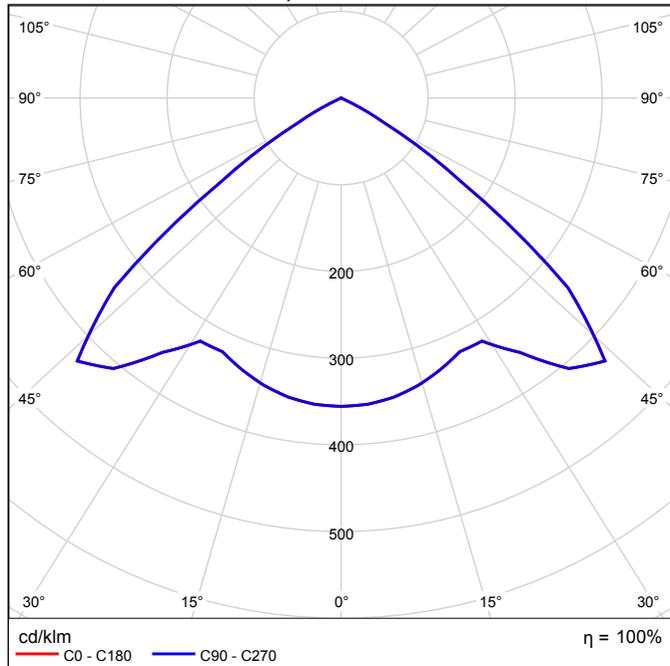
Los valores UGR se calculan según CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25

## TRILUX Inperla C2 HR LED 2000 ww 01 ET Inperla / Hoja de datos de luminarias

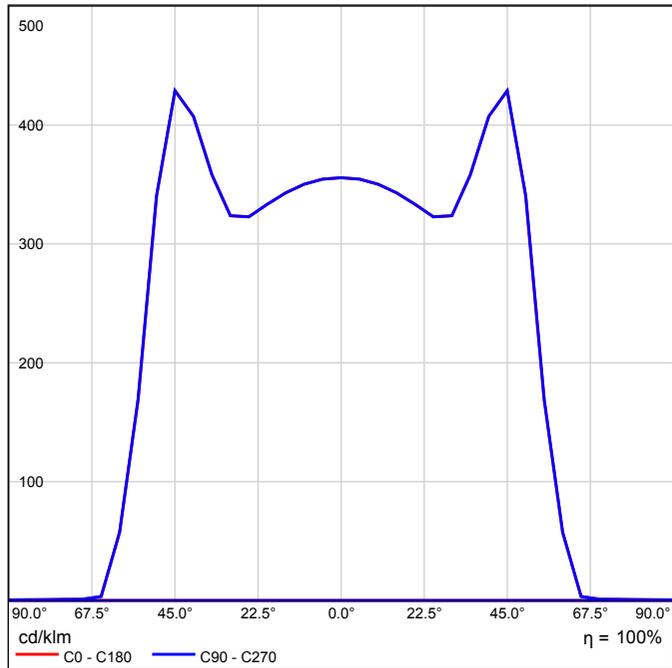


Round LED recessed downlight. With one high performance LED module 2000 lm. For ceiling cut-out 210 mm. Recess depth 100 mm. Recessed ceiling installation via rapid-mounting springs. Can be inserted without tools after frame mounting. Highly specular reflector. Luminaire luminous flux 1900 lm, Connected load 28 Watt, Luminous efficiency of luminaire 68 lm/W. Light colour warm white (ww), colour temperature 3000 K. Colour rendering index RA > 80. Sheet steel luminaire body, powder-coated solvent-free. Ceiling mounting ring of die-cast zinc, with rectangular sectional profile. Shadow gap between bezel ring and reflector rim for accommodation of covers. With white ceiling ring. With electronic transformer.

Emisión de luz 1 / CDL polar



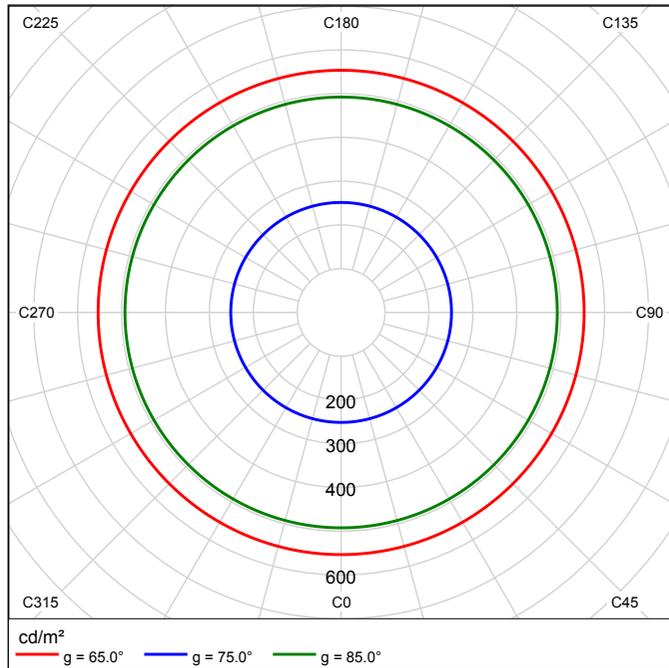
Emisión de luz 1 / CDL lineal



### Emisión de luz 1 / Diagrama conico

0.5	1.36	E(0°) E(C0)	53.6°	2845 363
1.0	2.71	E(0°) E(C0)	53.6°	711 91
1.5	4.07	E(0°) E(C0)	53.6°	316 40
2.0	5.43	E(0°) E(C0)	53.6°	178 23
2.5	6.78	E(0°) E(C0)	53.6°	114 15
3.0	8.14	E(0°) E(C0)	53.6°	79 10
Separación		Diámetro cónico		Intensidad luminica
— C0 - C180 (Semiángulo de dispersión: 107.2°)				

### Emisión de luz 1 / Diagrama de densidad lumínica



### Emisión de luz 1 / Diagrama UGR

Valoración de deslumbramiento según UGR													
Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30			
Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30			
Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20			
Posición del local	X	Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara				Mirado longitudinalmente al eje de lámpara						
2H	2H		23.7	24.9	24.0	25.1	25.4	23.7	24.9	24.0	25.1	25.4	
	3H		23.6	24.6	23.9	24.9	25.1	23.6	24.6	23.9	24.9	25.1	
	4H		23.5	24.5	23.9	24.7	25.0	23.5	24.5	23.9	24.7	25.0	
	6H		23.5	24.3	23.8	24.6	24.9	23.5	24.3	23.8	24.6	24.9	
	8H		23.4	24.2	23.8	24.5	24.9	23.4	24.2	23.8	24.5	24.9	
	12H		23.4	24.2	23.7	24.5	24.8	23.4	24.2	23.7	24.5	24.8	
4H	2H		23.7	24.6	24.0	24.9	25.2	23.7	24.6	24.0	24.9	25.2	
	3H		23.5	24.3	23.9	24.6	25.0	23.5	24.3	23.9	24.6	25.0	
	4H		23.5	24.1	23.8	24.5	24.8	23.5	24.1	23.8	24.5	24.8	
	6H		23.4	24.0	23.8	24.3	24.7	23.4	24.0	23.8	24.3	24.7	
	8H		23.3	23.9	23.8	24.3	24.7	23.3	23.9	23.8	24.3	24.7	
	12H		23.3	23.8	23.8	24.2	24.6	23.3	23.8	23.8	24.2	24.6	
8H	4H		23.3	23.9	23.8	24.3	24.7	23.3	23.9	23.8	24.3	24.7	
	6H		23.3	23.7	23.7	24.1	24.6	23.3	23.7	23.7	24.1	24.6	
	8H		23.2	23.6	23.7	24.1	24.5	23.2	23.6	23.7	24.1	24.5	
	12H		23.2	23.5	23.7	24.0	24.5	23.2	23.5	23.7	24.0	24.5	
	12H	4H		23.3	23.8	23.7	24.2	24.6	23.3	23.8	23.7	24.2	24.6
		6H		23.2	23.6	23.7	24.1	24.5	23.2	23.6	23.7	24.1	24.5
8H			23.2	23.5	23.7	24.0	24.5	23.2	23.5	23.7	24.0	24.5	
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias													
S = 1.0H	+1.5 / -1.9				+1.5 / -1.9								
S = 1.5H	+3.0 / -12.1				+3.0 / -12.1								
S = 2.0H	+4.9 / -23.5				+4.9 / -23.5								
Tabla estándar	BK00				BK00								
Factor de corrección	5.2				5.2								
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 2000lm Flujo luminoso total													

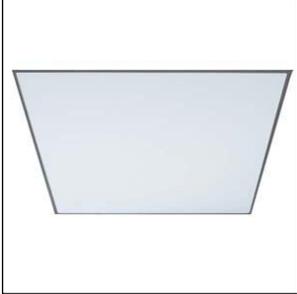
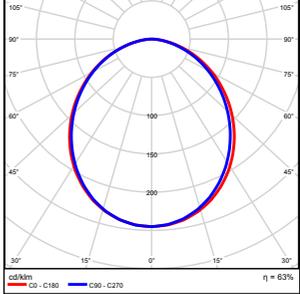
Los valores UGR se calculan según CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25

## Local 1 / Sinopsis de locales

Altura del local: 2.700 m, Grado de reflexión: Techo 70,0%, Paredes 73,7%, Suelo 70,5%, Factor de degradación: según EN12464

No se encontraron resultados de salida.

Probablemente no se seleccionaron los resultados disponibles para el resumen.

N°	Número de unidades		
1	2	HavellsSylvania 2041858 Decade Recessed Modular 4x24W Grado de eficacia de funcionamiento: 63.03%	 

Flujo luminoso total: 13600 lm, Potencia total: 208 W

Potencia específica de conexión: 17.28 W/m² (Base 12.04 m²)

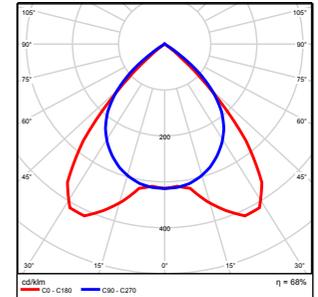
## Local 3 / Sinopsis de locales

Altura del local: 2.700 m, Grado de reflexión: Techo 70,0%, Paredes 73,7%, Suelo 70,5%, Factor de degradación: según EN12464

No se encontraron resultados de salida.

Probablemente no se seleccionaron los resultados disponibles para el resumen.

N°	Número de unidades	
1	2	HavellsSylvania 5055750 3.4.T5 BESS12 314 Grado de eficacia de funcionamiento: 68.16%



Flujo luminoso total: 7380 lm, Potencia total: 102 W

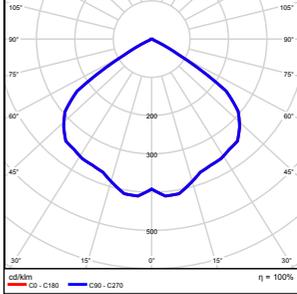
Potencia específica de conexión: 8.47 W/m<sup>2</sup> (Base 12.04 m<sup>2</sup>)

## Local 2 / Sinopsis de locales

Altura del local: 2.700 m, Grado de reflexión: Techo 70,0%, Paredes 73,7%, Suelo 70,5%, Factor de degradación: según EN12464

No se encontraron resultados de salida.

Probablemente no se seleccionaron los resultados disponibles para el resumen.

N°	Número de unidades		
1	4	HAVELLSSYLVANIA 2052670 LEDLED 50 12 LED STD HE 3000K SQR Grado de eficacia de funcionamiento: 99.92%	 

Flujo luminoso total: 3860 lm, Potencia total: 60 W

Potencia específica de conexión: 4.98 W/m² (Base 12.04 m²)

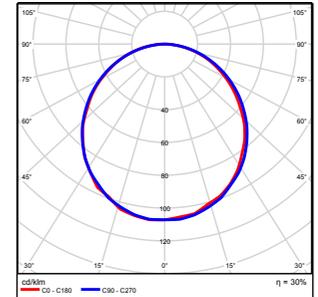
## Local 4 / Sinopsis de locales

Altura del local: 2.700 m, Grado de reflexión: Techo 70,0%, Paredes 73,7%, Suelo 70,5%, Factor de degradación: según EN12464

No se encontraron resultados de salida.

Probablemente no se seleccionaron los resultados disponibles para el resumen.

N°	Número de unidades	
1	4	BRUMBERG o07256 Flat-Q Grado de eficacia de funcionamiento: 30.40%



Flujo luminoso total: 19200 lm, Potencia total: 216 W

Potencia específica de conexión: 17.94 W/m<sup>2</sup> (Base 12.04 m<sup>2</sup>)

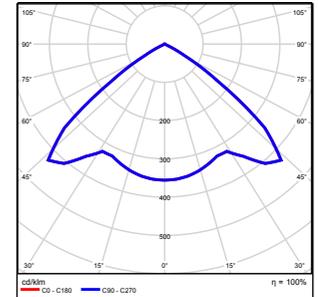
## Local 5 / Sinopsis de locales

Altura del local: 2.700 m, Grado de reflexión: Techo 70,0%, Paredes 73,7%, Suelo 70,5%, Factor de degradación: según EN12464

No se encontraron resultados de salida.

Probablemente no se seleccionaron los resultados disponibles para el resumen.

N°	Número de unidades	
1	4	TRILUX Inperla C2 HR LED 2000 ww 01 ET Inperla Grado de eficacia de funcionamiento: 99.91%



Flujo luminoso total: 8000 lm, Potencia total: 144 W

Potencia específica de conexión: 11.96 W/m² (Base 12.04 m²)

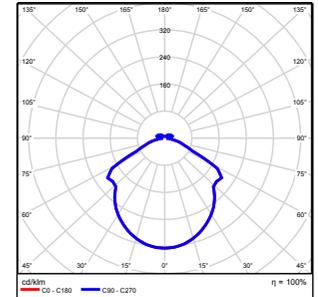
## Local 6 / Sinopsis de locales

Altura del local: 2.700 m, Grado de reflexión: Techo 70,0%, Paredes 73,7%, Suelo 70,5%, Factor de degradación: según EN12464

No se encontraron resultados de salida.

Probablemente no se seleccionaron los resultados disponibles para el resumen.

N°	Número de unidades	
1	2	TRILUX Inperla C2 HR LED 2000 ww 01 + DS-M ET Inperla Grado de eficacia de funcionamiento: 99.97%



Flujo luminoso total: 4000 lm, Potencia total: 72 W

Potencia específica de conexión: 5.98 W/m<sup>2</sup> (Base 12.04 m<sup>2</sup>)

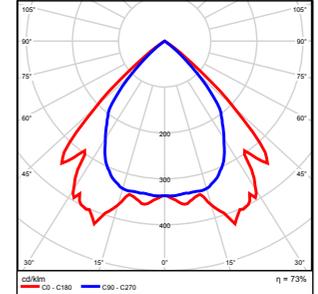
## Local 7 / Sinopsis de locales

Altura del local: 2.700 m, Grado de reflexión: Techo 70,0%, Paredes 73,7%, Suelo 70,5%, Factor de degradación: según EN12464

No se encontraron resultados de salida.

Probablemente no se seleccionaron los resultados disponibles para el resumen.

N°	Número de unidades	
1	2	BEGHELLI 77-034/218/E Apus Grado de eficacia de funcionamiento: 72.61%



Flujo luminoso total: 4800 lm, Potencia total: 72 W

Potencia específica de conexión: 5.98 W/m<sup>2</sup> (Base 12.04 m<sup>2</sup>)

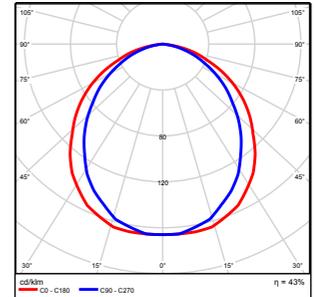
## Local 8 / Sinopsis de locales

Altura del local: 2.700 m, Grado de reflexión: Techo 70,0%, Paredes 74,1%, Suelo 70,5%, Factor de degradación: según EN12464

No se encontraron resultados de salida.

Probablemente no se seleccionaron los resultados disponibles para el resumen.

N°	Número de unidades	
1	3	Disano Minilinea A Fosnova Minilinea A FL 1x28 CELL EL oxidado nat. Grado de eficacia de funcionamiento: 43.37%



Flujo luminoso total: 7920 lm, Potencia total: 96 W

Potencia específica de conexión: 7.97 W/m<sup>2</sup> (Base 12.04 m<sup>2</sup>)

**TEC**

Tecnológico  
de Costa Rica

Escuela de  
Diseño Industrial

Te.: 2550-2256 • Fax: 2550-2728

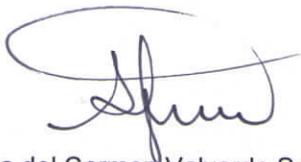
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Diseño Industrial  
Proyecto de Graduación – Bachillerato  
Tribunal Evaluador

Estudiante: Melvin Camacho Leitón

---

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el Título de Ingeniero en Diseño Industrial con el grado académico de Bachillerato Universitario del Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Miembros del Tribunal**



MGP. María del Carmen Valverde Solano



MDS. Xinia Varela Sojo



DI. José Brenes Catalán



M.Sc. Donald Granados Gomez



**D.I. TEC**

Escuela de Diseño Industrial  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Diseño Industrial.

**21 de noviembre del 2013, Cartago, Costa Rica**

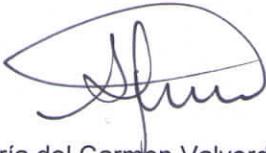
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Diseño Industrial  
Proyecto de Graduación – Bachillerato  
Tribunal Evaluador

Estudiante: Andrés Montero Vega

---

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el Título de Ingeniero en Diseño Industrial con el grado académico de Bachillerato Universitario del Instituto Tecnológico de Costa Rica

**Miembros del Tribunal**



MGP. María del Carmen Valverde Solano



MDS. Xinia Varela Sojo



DI. José Brenes Catalán



M.Sc. Donald Granados Gómez



Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Diseño Industrial.

**21 de noviembre del 2013, Cartago, Costa Rica**