

MASTER UNIVERSITARIO EN INVESTIGACION EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y  
SOSTENIBILIDAD EN INDUSTRIA, TRANSPORTE, EDIFICACION Y URBANISMO

**Título:**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRATEGIAS  
DE AHORRO ENERGÉTICO EN ILUMINACION  
SOLAR EN EDIFICIOS”**

**Alumna:**

**ALVAREZ HUAMAN, Alhelí Estela <sup>(1)</sup>**

**esalheli@gmail.com:**

<sup>(1)</sup> Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos

**Directora:**

**Amaia Torregaray**

**29 de junio 2016**

## PRESENTACIÓN

EL presente Proyecto de Fin de Master busca abordar de forma general e iniciar el estudio sobre la temática de los Sistemas de Iluminación Natural Interior (SINAI) y su integración en edificaciones existentes. Centrándose en la clasificación de los SINAI aplicado a la Rehabilitación Energética, de forma tal que estos sistemas puedan integrarse adecuadamente al edificio residencial existente. Con el fin de lograr que éste tenga un comportamiento energéticamente eficiente, tomando como principios el confort ambiental del usuario y el ahorro energético, que significa un buen rendimiento visual al interior del ambiente.

Por lo que, para el desarrollo ordenado, se ha abordado el proyecto a partir de los siguientes puntos:

Como *primer punto*, se realiza el Estado del Arte. Partiendo de la Importancia de los SINAI en la Rehabilitación Energética y su claro vínculo con el Confort Ambiental; obteniendo a partir de ello los Factores que determinan el comportamiento de un SINAI y aquellas características relacionadas al funcionamiento de los mismos. Por último, se aborda la noción de Calidad de los SINAI, donde se estudia la calidad y cantidad de luz relacionado al Rendimiento Visual.. Como *segundo punto*, se procede con la identificación de los SINAI y la tipología edificatoria existente; para lo cual se realiza una Síntesis de estos dos temas. Como *tercer punto*, se clasifica los SINAI a partir de la Caracterización Arquitectónica de las tipologías residenciales existentes que se realiza en función a la Profundidad de Iluminación Interior, tomando en cuenta la profundidad de los ambientes [37, 35], los fenómenos físicos de propagación de la luz [07] y las características de la tipología existente. Finalmente, en base a la recopilación y síntesis realizado en el segundo punto, se procede con el cruce de información, donde a partir de los datos numéricos obtenidos se identifica cuales son aquellos SINAI que mejor se Integran a las edificaciones residenciales existentes de acuerdo a los tres tipos SINAI encontrados.

Se puede decir entonces, que la Eficiencia Energética en la Iluminación, tiene una estrecha relación con los niveles de confort y el uso de la luz natural como agente lumínico de un edificio. Así, teniendo un nivel adecuado de iluminación natural al interior de un ambiente, se logra que la persona perciba niveles de confort y bienestar adecuados; logrando un ahorro significativo de energía y la reducción de las emisiones de  $CO_2$ . Se trataría de un punto de partida para posteriores estudios más precisos y concretos desde abordajes más específicos. Es por ello que en este trabajo se ha procurado abarcar al máximo la descripción de los diferentes sistemas actuales

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por ser mi razón de fortaleza, paciencia y profunda paz.  
A mis padres Guido Alvarez y Estela Huamán por ser mi bastión  
y enseñarme que es el amor. A mis hermanas Magnolia y Azucena  
por ser mi aliento silencioso, a mi país por ser el motivo de mi  
emprendimiento y a esta ciudad por abrirme las puertas hacia un  
conocimiento con otra mirada.*

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN	Pg. 05
2. ESTADO DEL ARTE	09
2.1. Importancia de los SINAI	09
2.1.1. Rehabilitación Energética	10
2.1.2. Confort Ambiental y Salud	13
2.2. Definición de los SINAI	16
2.3. Factores que determinan el comportamiento de los SINAI	17
2.3.1. Las condiciones climáticas de la zona.	18
2.3.2. El control de la luz directa y difusa	21
2.3.3. La adaptación del ambiente interior a las necesidades o actividades del usuario.	23
2.3.4. El transporte y distribución de la luz natural a partir de fenómenos de propagación de la luz.	24
2.4. Funcionamiento de los SINAI	25
2.4.1. Fenómenos físicos de propagación de la luz	26
2.4.2. Óptica geométrica	32
2.5. Calidad de los SINAI y la Eficiencia Energética	34
2.5.1. Calidad y Cantidad de Luz	36
2.5.2. Calculo de la Cantidad y Calidad de Luz	41
3. OBJETIVOS Y ALCANCES	45
3.1. Objetivos	45
3.2. Alcances	45
4. METODOLOGIA	46
5. TIPOLOGIA EDIFICATORIA EXISTENTE	48
5.1. Normativa edificatoria y medio ambiental	48
5.2. Alcance y descripción de tipologías existentes	49
6. IDENTIFICACION Y SINTESIS	62
6.1. Síntesis de las características de los SINAI	62
6.2. Síntesis de las características edificatorias existentes	66
7. CLASIFICACIÓN DE LOS SINAI	69
7.1. Caracterización de la clasificación	75
7.2. En función a la profundidad de iluminación interior	84

7.2.1. Sistemas de corto alcance	84
7.2.1.1. SINAI con estantes de luz	84
7.2.1.2. SINAI con persianas y lamas de luz	93
7.2.1.3. SINAI integrado a la propia ventana	96
7.2.1.4. SINAI con claraboyas o huecos cenitales	101
7.2.2. Sistemas de mediano alcance	103
7.2.2.1. SINAI con concentradores de luz instaladas en la fachada	103
7.2.2.2. SINAI con concentrador instalado en las claraboyas o huecos cenitales	106
7.2.3. Sistemas de largo alcance	108
7.2.3.1. SINAI por el tipo de concentrados	108
7.2.3.2. SINAI por el tipo de tubo de luz	114
7.3. SINAI híbridos	120
7.4. Síntesis de la Clasificación de los SINAI	121
8. APLICACIÓN DE LOS SINAI A LA TIPOLOGIA EDIFICATORIA EXISTENTE	122
8.1. Parámetros de los SINAI a tomar en cuenta para su aplicación en la tipología edificatoria existente	122
8.2. Cruce de información y discriminación funcional	126
8.3. Algunos sistemas comerciales	131
9. RESULTADOS	132
10. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ACTUALES Y LINEAS A FUTURO	134
11. CONCLUSIONES	135
12. BIBLIOGRAFIA	136
13. ANEXOS	150

Anexo A: Listado de acrónimos

Anexo B: Tablas y esquemas importantes

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se vive una gran preocupación sobre el calentamiento global y los cambios climáticos que este genera en todo el mundo, causado por acontecimientos de origen natural y antropogénicos, siendo una de las causas más importantes la emisión descontrolada de  $CO_2$ .

El sector Edificación es uno de los sectores más contaminantes; consumiendo más del 40% de la energía primaria total hasta el año 2012 [1], así como la iluminación artificial constituye el 14% del consumo eléctrico en la Unión Europea [7]. Para dar solución a esta realidad, la UE plantea una serie de medidas para la reducción de emisiones de  $CO_2$ , las cuales están plasmadas en los objetivos del H2020 y los planes de acción de la EE2011; siendo los objetivos al 2020 la reducción en 20% del consumo de energía primaria, la reducción del 20% de emisiones de  $CO_2$ . y el consumo del 20% de energías renovables. [1].

España, no es omiso a estas medidas y objetivos en el sector edificación. Según el Ministerio de Fomento las viviendas consumen en España el 17% de toda la energía del país [78]. Siendo uno de los países europeos con mayor parque edificatorio, pero con la menor intervención de Rehabilitaciones Energéticas en sus edificios [54]. También se ha observado que de los 25 millones de viviendas construidas en España, más del 50% son edificios de 4 o más plantas, y un 45% son edificaciones de más de 50 años de antigüedad; convirtiéndolos así en edificios obsoletos energéticamente [8].

La Rehabilitación Energética de un edificio comprende dos actuaciones importantes: en la envolvente del edificio, optimizando pérdidas y ganancias energéticas; y actuando sobre las instalaciones de climatización, ACS e Iluminación [54], aprovechando la luz natural y mejorando los rendimientos de los equipos de iluminación. Sin embargo, este proceso de Rehabilitación Energética presenta varios inconvenientes como la lentitud de los procesos y la instalación incompleta de los sistemas de rehabilitación energética [67], aplicándose en su mayoría sistemas de climatización y ACS; y dejando de lado la utilización de los sistemas de iluminación natural. Todo ello causa *primero*: Un comportamiento energético de forma parcial, por consiguiente, el edificio no es eficiente; *segundo*: No se logra el bienestar y confort ambiental deseado en los habitantes o usuarios, porque se sigue consumiendo cantidades innecesarias de energía eléctrica por el uso de luz artificial y de sistemas convencionales de climatización y ACS; y, *tercero*: No cumple con los objetivos de reducción de  $CO_2$  y el uso de energías renovables.

Así mismo, la falta de inclusión de los sistemas de iluminación natural en los edificios, hace que no se cumpla en su totalidad las actuaciones enmarcadas en la: “*Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación*” del Programa PAREER-CRECE [8] del gobierno español, como parte de las actuaciones para el objetivo de H2020.

Esta problemática permite plantear en el presente trabajo; el estudio, la caracterización, la síntesis, la clasificación y por último, la identificación de aquellos Sistemas de Iluminación Natural en Ambientes Interiores (SINAI) que puedan aplicarse a los Edificios Existentes, dentro del campo de la Rehabilitación Energética. Estos sistemas de iluminación natural vienen siendo estudiados ya bastante tiempo, quedando la mayoría en la etapa de investigación; por lo que el objetivo principal de este trabajo es lograr **identificar a aquellos SINAI que se integren a los Edificios de Vivienda Plurifamiliar, de acuerdo a una tipología específica.**

Para el cumplimiento de este objetivo, se ha tomado como estudio primordial a los Sistemas de Iluminación Natural, los cuales generan a partir de sus características intrínsecas beneficios como: *A. Ahorro de electricidad, B. Mejora de la eficiencia energética del edificio, C. Aprovechamiento de energías renovables, D. Reducción de  $CO_2$  y; E. Generación de un ambiente interior saludable y con las condiciones adecuadas de confort ambiental* [3]. De hecho, los huecos en las fachadas de los edificios (ventanas) no son suficientes para la obtención de iluminación interior uniforme [35], este problema se produce debido a que estos huecos no son bien estudiados o calculados y no se toma en cuenta la naturaleza del comportamiento solar (dirección solar variable durante todo el año, deslumbramientos y sombras causados por la luz directa, bajo nivel lumínico en luz difusa), así como otros referidos a condiciones climáticas.

Por otro lado, en el curso del proyecto se ha visto el amplio campo de información existente sobre la iluminación natural, la óptica, la energía solar, el confort ambiental, la salud y la tecnología. Por lo que se ha visto por conveniente tomar en cuenta solo aquellos aspectos que conduzcan a la inclusión de los SINAI en la Rehabilitación Energética actual. Aspectos importantes como la definición de los SINAI, las condiciones climáticas de la zona, el control de luz directa y difusa, la adaptación del ambiente interior a las necesidades y actividades del usuario, y el transporte y distribución de la luz natural. Así como su funcionamiento a través de los fenómenos físicos de propagación de la luz y la óptica geométrica, la determinación de ciertos parámetros y la relación entre cantidad y calidad Lumínica [19] que ofrece cada uno de estos sistemas. También las cualidades de cada sistema, existiendo sistemas que transportan iluminación natural a una determinada distancia con respecto a la fachada o ventana, logrando una distribución equitativa de

la luz en todo el ambiente; otros sistemas pueden ser utilizados para resolver problemas de iluminación en ambientes profundos que carecen de ventanas y que solo utilizan iluminación artificial. Pueden también, ser transportados de forma horizontal, vertical o mediante dispositivos que desvíen la trayectoria de los rayos de luz; otros cumplen estas dos funciones al mismo tiempo; y otros sistemas más complejos pueden tener como fuente de energía, la eléctrica o solar. Todo ello tomando en cuenta las condicionantes climáticas de cada zona, la orientación del edificio y las características de la fachada [23].

Por lo que, para el desarrollo ordenado del proyecto, se plantea el trabajo en tres etapas fundamentales:

Como *primer punto*, se realiza el Estado del Arte. Partiendo de la Importancia de los SINAI en la Rehabilitación Energética y su claro vínculo con el Confort Ambiental; obteniendo a partir de ello los Factores que determinan el comportamiento de un SINAI y aquellas características relacionadas al funcionamiento de los mismos. Por último, se aborda la noción de Calidad de los SINAI, donde se estudia la calidad y cantidad de luz relacionado al Rendimiento Visual, con la finalidad de obtener datos cualitativos y cuantitativos, los cuales, al ser comparados arrojen el nivel de desempeño de un determinado SINAI. Esta primera parte aporta a la sistematización de aquellas características y parámetros importantes que repercuten en la eficiencia energética de estos sistemas.

Como *segundo punto*, se procede con la identificación de los SINAI conocidos/estudiados hasta el momento y la Tipología Edificatoria existente; para lo cual se realiza una Síntesis de estos dos temas. Esta parte aporta a la sistematización de aquellas características y parámetros importantes que repercuten en la eficiencia energética de estos sistemas.

Como *tercer punto*, se da paso a la Aplicación de los SINAI en la Rehabilitación Energética. Iniciando con la Clasificación de los éstos a partir de la Caracterización Arquitectónica de las tipologías residenciales existentes que se realiza **en función a la Profundidad de Iluminación Interior, tomando en cuenta la profundidad de los ambientes** [37, 35], los fenómenos físicos de propagación de la luz [07] y las características de la tipología existente. Luego, en base a la recopilación y síntesis realizado en el segundo punto, se procede con el cruce de información, donde a partir de los datos numéricos obtenidos se identifica cuales son aquellos SINAI que mejor se integran a las edificaciones residenciales **existentes** de acuerdo a los tres tipos SINAI encontrados.



Se puede decir entonces, que la Eficiencia Energética en la Iluminación, tiene una estrecha relación con los niveles de confort y el uso de la luz natural como agente lumínico de un edificio. Así, teniendo un nivel adecuado de iluminación natural al interior de un ambiente, se logra que la persona perciba niveles de confort y bienestar adecuados; logrando un ahorro significativo de energía y la reducción de las emisiones de  $CO_2$ . También es necesario indicar que el presente proyecto, tiene carácter inicial o básico ya que éste servirá como apoyo para que en un futuro, estos sistemas de iluminación natural previamente elegidos a partir de sus características, puedan ser puestos a disposición de la población para su uso genérico.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. IMPORTANCIA DE LOS SINAI

El presente trabajo muestra la importancia de la aplicación de los SINAI en edificios existentes, no solo brindando confort lumínico, sino también ayudando al control térmico interior y a reducir el uso de sistemas de climatización convencionales [4,22, 24]. Así mismo, al utilizar como materia prima la radiación procedente del sol, se capta la capacidad energética suficiente como para la utilización de termas solares y el funcionamiento de los sistemas de climatización convencionales [28, 16]; logrando un ahorro significativo de energía eléctrica [6, 7] y la reducción de las emisiones de  $CO_2$  a través de uso de energía renovable [5, 8]. En la Figura N°1, se muestra la importancia de la Rehabilitación Energética y el Confort Ambiental como punto de partida para el desarrollo de la clasificación de los SINAI.

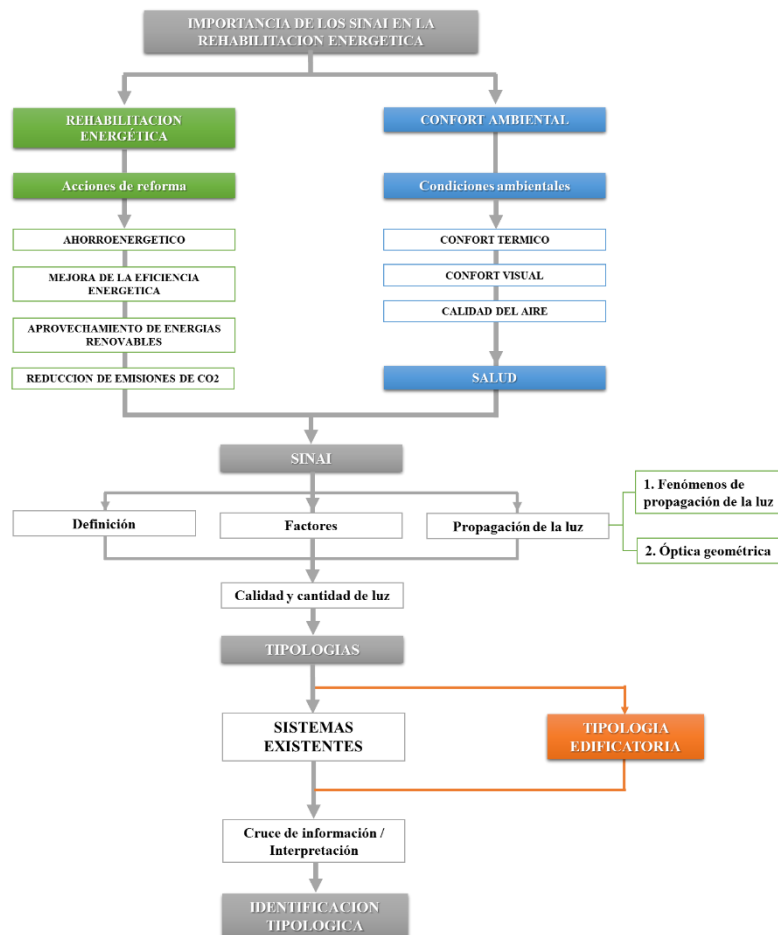


Figura 1: Esquema de la importancia de la aplicación de los SINAI, el cual se fundamenta en la Rehabilitación de Edificios y el Confort Ambiental como punto de partida para el desarrollo de la clasificación.

Para obtener un buen desempeño de la iluminación natural, es importante tomar las decisiones pertinentes en la fase conceptual y de diseño arquitectónico del proyecto, cuando el edificio recién se está configurando [2]. En este caso, la construcción ya existe, por lo cual los SINAI deben adaptarse a la configuración arquitectónica pre-establecida, cumplir con su función y el desempeño esperado.

### 2.1.1. Rehabilitación Energética

La Rehabilitación Energética comprende dos actuaciones importantes: a) En la envolvente del edificio, optimizando las pérdidas y ganancias energéticas y; b) Actuando sobre las instalaciones de climatización (producción de frío y calor), ACS (agua caliente sanitaria) y la iluminación, aprovechando la luz natural y mejorando los rendimientos de los equipos de iluminación [54].

El Ministerio de Fomento de España, informa que el potencial para las acciones de rehabilitación energética es muy grande, teniendo 25 millones de viviendas situadas principalmente en entornos urbanos [11], 18 millones de viviendas principales (como residencia principal) [56, 54], más del 50% son edificios de 4 o más plantas, y un 45% son edificaciones de más de 50 años de antigüedad; convirtiéndolos así en **edificios obsoletos energéticamente** [8]. Según el Ministerio de Fomento, las viviendas consumen en España el 17% de toda la energía del país [54]. Siendo uno de los países europeos con mayor parque edificatorio, pero con la menor intervención de Rehabilitaciones Energéticas en sus edificios [54].

En investigaciones recientes sobre la Rehabilitación Energética, se menciona que el comportamiento térmico de un edificio y la mejora de la iluminación natural interior, logran reducir hasta un 83% el uso de sistemas de climatización artificiales [28]. Así mismo, el programa del Programa PAREER-CRECE del Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España, indica que las acciones de reforma para la rehabilitación energética de un edificio contemplan **cuatro acciones de reforma** (esquema nº 01), una de las cuales es la **mejora de la eficiencia energética de instalaciones térmicas y de iluminación** [8].

De hecho, las medidas de mejora de la eficiencia energética de los edificios suelen desencadenar beneficios para los residentes, como una mayor comodidad, la mejora de la calidad del aire, la reducción del precio de la energía; así como también problemas relacionados con la reducción de la física de la construcción [34].

- **Ahorro Energético**

La iluminación, calefacción y refrigeración son las tres funciones de mayor consumo energético en un edificio [5], ya que pasamos más del 80% de nuestro tiempo dentro de un ambiente cerrado trabajando, descansando o haciendo otras actividades [6]; y de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (AIE) la iluminación artificial constituye el 14 % del consumo eléctrico en la Unión Europea [7]. Los SINAI deben ser sistemas que permitan un ahorro considerable en el consumo de otras fuentes de energía como la eléctrica, combustibles fósiles y otros; insertando sistemas eficientes que aprovechen la luz del sol el mayor número de horas posible durante el día [34], para ser utilizados durante el día y si es posible durante la noche.

#### ▪ **Mejora de la Eficiencia Energética**

La Eficiencia Energética consiste en el uso inteligente de la energía, reduciendo el consumo energético sin disminuir la calidad de vida de los pobladores [1]. Los SINAI aportan en gran manera al comportamiento eficiente del edificio; pudiendo ser sistemas innovadores, dinámicos, multifuncionales, prácticos y sencillos de utilizar, de fácil instalación, de poco mantenimiento, con un costo reducido de fabricación y generando ahorros sustanciales a largo plazo, principalmente. El comportamiento eficaz de estos sistemas se da a través de la aplicación de dos elementos importantes: a) Los fenómenos físicos de propagación de la luz, como un medio para el transporte y/o distribución de la luz [36], y; b) La geometría óptica, a través de la cual se asegura la eficiencia lumínica del sistema [51]. Estos elementos inciden directamente en la Calidad y Cantidad de luz necesaria para que el ocupante pueda desempeñar sus actividades diarias con un nivel de bienestar adecuado.

Se toma también en cuenta para el cumplimiento de este fin, las condiciones climáticas del lugar, la orientación, la fachada [23] y las condiciones de nubosidad durante el día [6] de tal forma que el interior del edificio esté correctamente iluminado. Condiciones a tomarse en cuenta para la elección de un SINAI propicio para asegurar un buen rendimiento energético.

La eficiencia energética sirve para luchar contra el cambio climático, mejora la seguridad energética, contribuye al logro de los objetivos de Lisboa y reduce los gastos de todos los ciudadanos comunitarios [1].

#### ▪ **Aprovechamiento de Energías Renovables**

La energía solar o radiación solar puede ser aprovechable de múltiples formas. A.J. Whang dice que entre las energías renovables, la energía solar tiene el potencial para una aplicación generalizada [29]; como calefacción pasiva a través de radiación solar, termas solares (paneles fotovoltaicos), fuente de

energía para sistemas de climatización convencionales, iluminación natural dentro del edificio y transformación de energía solar en energía eléctrica, para puntos de iluminación interior como celdas o células solares [30], etc.

Varios estudios, como los realizados con el objetivo de tener “consumo cero” de energía en viviendas y las tecnologías aplicadas como el Standard Passive House [32]; indican que el consumo total de energía de una vivienda puede ser cubierta en un gran porcentaje por un sistema de producción de energía solar (paneles fotovoltaicos) [31]. Quiere decir es posible que las funciones energéticas que realiza un edificio pueden ser abastecidas por energía renovable [40].

Proyectos de investigación recientes, como RESSEEPE [9], proyecto del 7PM (séptimo programa marco), plantean que los usos de sistemas de climatización con energías no renovables pueden reducir hasta el 50% del consumo energético de los edificios, si se toma en cuenta todos los aspectos que conlleva la rehabilitación Energética [9].

#### ▪ **Reducción de Emisiones de $CO_2$**

La reducción de las emisiones de  $CO_2$  para evitar el calentamiento global, es talvez el fin más importante y por el cual se realizan tantas acciones sobre el uso de energías limpias y amigables con el medio ambiente. El sector edificación es uno de los más contaminantes y emisivos de  $CO_2$ , consumiendo más del 40% de la energía primaria total al año 2012 [1]. La UE a través del H2020 y los planes de Acción de EE 2011, tratan de buscar soluciones; siendo uno de los objetivos al 2020 la reducción en un 20% del consumo de energía primaria a través del uso de energías renovables [1].

El gobierno español a través del Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020 (enviado a la UE el 2014) [11], impulsa la rehabilitación energética en el sector de la edificación, promoviendo de forma estratégica la renovación de los edificios para que sean energéticamente eficientes, y así generar ahorro de energías de fuentes no renovables y, por consiguiente, reducir las emisiones de  $CO_2$  [10]. Así mismo, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo implementó para el año 2013 a través del Real Decreto 235/2013 la aprobación del procedimiento básico para la Certificación de la eficiencia energética de los edificios, los cuales son demostrados a partir de la Etiqueta de Eficiencia Energética; la normativa también indica que cada 10 años un edificio debe pasar por controles para verificar su comportamiento energético [12, 10, 9].

### 2.1.2. Confort Ambiental y Salud

El hombre interactúa constantemente con su medio ambiente; las condiciones de este determinan el comportamiento físico y psicológico del hombre, siendo un factor determinante para las condiciones en su salud, bienestar y estado de ánimo [33]. Marylyn Andersen [3] en su investigación sobre “La Respuesta Humana en el Diseño de Iluminación Natural”, señala que **tres aspectos importantes sobre noción de bienestar humano** [3], Figura N°2:

- ✓ La persona como habitante de un espacio, necesita estar en un entorno propicio para su salud.
- ✓ La persona como usuario de un espacio (de trabajo), necesita realizar sus tareas en un ambiente de comportamiento dinámico (adaptado a diferentes funciones del usuario durante el día).
- ✓ La persona como testigo de un espacio, necesita un ambiente agradable del cual quiera disfrutar.



Figura 2: Aspectos sobre noción de bienestar de ser humano, para lo cual deben intervenir tres elementos: confort, disfrute y salud.

Estos tres aspectos mencionados en el esquema, interactúan entre sí y dan a entender, en términos generales, que los ambientes interiores de un edificio deben adaptarse a las condiciones dinámicas de la persona, de tal forma que genere confort y bienestar en cualquier función o acción que realice el hombre.

Por otra parte, la OMS define la Salud como “el estado de completo bienestar físico, mental y social del individuo y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades” [13], y podemos describir el Confort como “el estado físico y mental en el cual el hombre expresa satisfacción (bienestar) con el medio ambiente circundante” [14]. Sin embargo, se ha buscado un concepto más puntual; como el de M. del Mar y coautores [15] definen el **Confort Ambiental** de la siguiente forma:

*“Un determinado entorno puede considerarse cómodo (desde el punto de vista de los usuarios) si es capaz de proporcionar confort térmico adecuado, confort visual y las condiciones de calidad del aire en interiores” [15].*

Esta definición apoya la idea de brindar al usuario el confort adecuado en un ambiente interior, siendo éste, un objetivo a alcanzar a partir de las acciones para la Rehabilitación Energética del edificio; es decir, lograr confort térmico, visual y calidad de aire. Así, otros autores [27], en su estudio experimental sobre “*El confort térmico y confort visual en un edificio de oficinas equipado con acristalamiento electrocrómico inteligente*”, toman como variables y elementos de cálculo (consumo de iluminación, consumo por sistema de refrigeración y calefacción) al confort térmico y visual, los cuales garantizan un Confort Ambiental adecuado.

El sol, la luz y el aire son elementos que se consideran factores principales para la vida de la persona, influyen en su salud y son también importantes para el diseño de la edificación y su entorno [24].

#### ▪ El Confort Térmico

Según las normas internacionales (ISO7730 1994 [16] y ASHRAE55 [17]) se define como “esa condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Sin embargo, esta definición es un poco ambigua, es decir, deja el significado de la condición de la mente y satisfacción abierta [15], haciendo hincapié en que **el bienestar es un proceso cognitivo influenciado por diferentes tipos de procesos: físicos, fisiológicos o incluso psicológicos**. Los factores que determinan el ambiente higrotérmico en un espacio cerrado son principalmente: las características térmicas de los elementos de contorno (envolvente del edificio), las fuentes interiores de calor y de vapor, el clima exterior y las características del sistema de climatización [18].

#### ▪ El Confort Visual

Se define como: “*cuando observamos objetos o realizamos tareas visuales sin molestias ni fatiga gracias a la adecuada combinación de calidad y cantidad de iluminación*” [19]. Por lo tanto, para garantizar que un ambiente interior tenga Confort Visual, debe cumplir dos condiciones:

- ✓ Garantizar que las **actividades cotidianas** [20] de la persona se desarrollen adecuadamente, para lo cual el ambiente debe cumplir con tres requisitos: La seguridad de las personas en su medio de desenvolvimiento, facilitar la realización de tareas visuales y ayudar en la creación de un entorno visual apropiado [44].
- ✓ Garantizar que la **percepción en la habitación** [21] sea la adecuada para el desarrollo de sus actividades, por lo que deben cumplir con tres requisitos: Distribución de brillo uniforme y equilibrio en la iluminación del espacio

Al igual que en el confort térmico, en el **confort visual también intervienen los procesos: físicos, fisiológicos o incluso psicológicos**; los cuales impactan sobre la persona. El tipo de luz y su intensidad afectan directamente la percepción del medio ambiente y por lo tanto tiene repercusiones en el estado de ánimo y en muchas conductas de la persona. En el estudio que realizan Cintia Akemi y Eduardo Leite [22] sobre “*El efecto de la luz natural sobre los aspectos de la salud y bienestar*”, se evidencia una mejora general de bienestar y de estado anímico de las personas cuando se exponen a la luz natural, tomando en cuenta los valores de luminancia que garantiza el confort visual [3].

#### ▪ **La Salud y la iluminación Natural**

Más del 90% de la información que es captada por el humano es obtenida por la vista [6]. La luz del sol no solo es importante para brindarnos iluminación natural durante las horas del día, sino que también afecta directamente al comportamiento del ser humano. En estudios realizados sobre la repercusión de la luz natural y artificial en ambientes interiores sobre la salud del usuario; se demostró que **existe una interfaz entre los factores fisiológicos y psicológicos del ser humano, de tal manera que afecta su comportamiento y salud física; está conexión se da solamente en exposición directa a la luz natural** [3].

La luz del sol tiene muchas ventajas en comparación a la luz artificial, las cuales aportan a la mejora de la salud y el confort de la persona [24]; a continuación, enumeramos una serie de **ventajas que otorga la luz natural al interior de un ambiente** según Darula [24]:

- ✓ Estimula y controla los ritmos circadianos.
- ✓ Mejora el sistema inmunológico.
- ✓ Mejora las actividades de los órganos internos y visuales.
- ✓ Suprime el desarrollo de bacterias que contaminan el medio ambiente.
- ✓ El cuerpo expuesto a la luz solar directa ayuda a la fabricación de la vitamina D y a disminuir la presión arterial.

Los **ritmos circadianos** son ritmos biológicos intrínsecos de carácter periódico (manifestándose en un intervalo de 24 horas), siendo el ciclo de vigilia – sueño el más importante; y está regulado por señales externas del entorno como es la exposición a la luz-oscuridad [26]. March, Radetsky y Smith indican que es necesario la exposición a la luz natural principalmente en horas de la mañana, durante 1 hora continua diaria y en un ambiente con más de 120 luxes, para promover la estimulación del ritmo circadiano y mejorar los patrones del sueño, incitando a las personas a estar alerta durante horas del día



e inducir el sueño en la noche [2]. La falta de exposición a la luz hace que el ritmo circadiano varíe y se presenten problemas como trastornos de sueño, somnolencia diurna, insomnio nocturno, confusión gastrointestinal, angustia, irritabilidad y depresión leve [25]. Si garantizamos un ritmo circadiano permanente, garantizamos entonces un ambiente propicio para la salud.

El Confort Ambiental y la Iluminación Natural están estrechamente relacionados a las actividades cotidianas de la persona, constituyendo elementos importantes que garantizan su bienestar y salud al interior de un edificio.

## 2.2. DEFINICION DE LOS SINAI

Kischkoweit-Lopin, probablemente sea el referente más conocido. En su trabajo del año 2002, “*An overview of daylighting systems*” [36] explica que la **función más importante** que debe cumplir un sistema de iluminación natural en espacios interiores, es la **adaptación de estos sistemas a las necesidades de las personas en relación a un tipo de clima determinado**, adoptando criterios de: sombreado, deslumbramiento, reflejo del sol, vista exterior, habilidades de transporte de luz [119], distribución de la iluminación, ahorro de energía eléctrica (luz artificial), montaje del sistemas, mantenimiento e información disponible sobre el sistema [36]. Siendo la clasificación que realiza la más didáctica y la que presenta más sistemas.

V. García Hansen, define a estos sistemas de la siguiente forma: “Los sistemas innovadores de luz natural son **dispositivos ópticos capaces de llevar la luz natural a las zonas interiores de un edificio**, incluso a las más profundas” [37], clasificándolos de acuerdo a la profundidad del plano de entrega de luz natural y el sistema utilizado (sistemas de guía de luz y transporte de luz).

Por otra parte, M. Nair, K. Ramamurthy y A. Ganesan el año 2014, en su trabajo “*Classification of Indoor Daylight Enhancement Systems*”, definen a los sistemas de iluminación natural interior como aquellos dispositivos innovadores apropiados para el transporte de la luz natural desde el exterior hacia el interior de un edificio, con el fin de mejorar la iluminación de los diferentes ambientes de forma natural; basados en enfoques de los **fenómenos físicos de la propagación de la luz**. Estos sistemas deben ser diseñados teniendo en cuenta factores como la **necesidad del usuario, el tipo de edificio y lo más importante las condiciones climáticas**” [35].

El año 2015, E.J. Gago [7] define definen a los sistemas de iluminación natural como, **los métodos de control y protección de la luz solar directa a los ocupantes**, evitando resplandecimientos,

maximizando la penetración de la luz natural en los edificios **basados en la preferencia de los ocupantes**, permitiendo una reducción del consumo eléctrico para la iluminación y refrigeración; y mejorando el confort térmico y visual de los usuarios en los ambientes interiores de un edificio [7]. También se debe tomar en cuenta las **condiciones climáticas externas**, como la nubosidad y las secuencias de iluminancia diarias (tipos de nubes, duración de cielo nublado y duración de insolación) [6] de tal forma que se pueda recrear las condiciones más reales posibles.

Referido a la Luz Natural, en la publicación “*Daylight in Buildings*” [23], se hace hincapié a los efectos causados por la luz del día en la realización de las tareas diarias de la persona, dependiendo de cómo esta luz es entregada en el ambiente interior, proporcionando iluminación que pueda ser agradable a la vista o pueda resultar incómodo [23, 48].

Entonces, tomando en cuenta las definiciones anteriores, se podría resumir los puntos más importantes de los SINAI como: **“Aquellos sistemas que sirven para iluminar naturalmente los ambientes interiores de un edificio; transportando y distribuyendo la luz del sol mediante dispositivos laterales o cenitales, y que por efecto de los fenómenos físicos de propagación de la luz y la óptica geométrica logran iluminar de forma homogénea todos los ambientes, de acuerdo a las necesidades del usuario”**.

Adicionalmente al concepto de los SINAI, se ha tomado en cuenta los **Estándar y normativas vigentes** en cuanto a iluminación interior, así como la **Calidad y Cantidad de Luz**; los cuales se relacionan con el fin de especificar las características y necesidades lumínicas para cualquier tarea [43], por consiguiente, generar un ambiente adecuado para el usuario [48].

### 2.3. FACTORES QUE DETERMINAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS SINAI

Tal como dice el autor:: “para obtener un buen desempeño de la iluminación natural en los ambientes interiores, es importante tomar las decisiones pertinentes en la fase conceptual y de diseño arquitectónico del proyecto, cuando el edificio recién se está configurando” [2]. Tal afirmación, para el caso del presente proyecto, no es necesariamente correcta, tomando en consideración que los edificios estudiados están ya construidos o ejecutados, por lo que los sistemas de iluminación natural deben adecuarse a la edificación existente, siendo un pie forzado para el proyecto.

Harmati [28], en su investigación sobre rehabilitación energética de edificios, toma como factores importantes de su análisis: el cálculo de la dispersión lumínica y el factor de la luz media (cantidad de luz) en relación al acristalamiento (ventana) existente, para la reducción de consumo eléctrico y la

demanda energética de un edificio [28]. Es decir que, los sistemas de iluminación natural deben adecuarse a la configuración de las ventanas existentes; por lo que los factores o condicionantes que determinan el comportamiento de los SINAI son más restringidos.

Tomando como referencias las diferentes definiciones de los SINAI en el Ítem 2.2, se ha logrado identificar a aquellos **factores determinantes** para el **comportamiento** y obtención de una adecuada iluminación en el ambiente, por consiguiente, lograr un confort visual y térmico ideal para el usuario, tal como se observa en la Figura N°3:

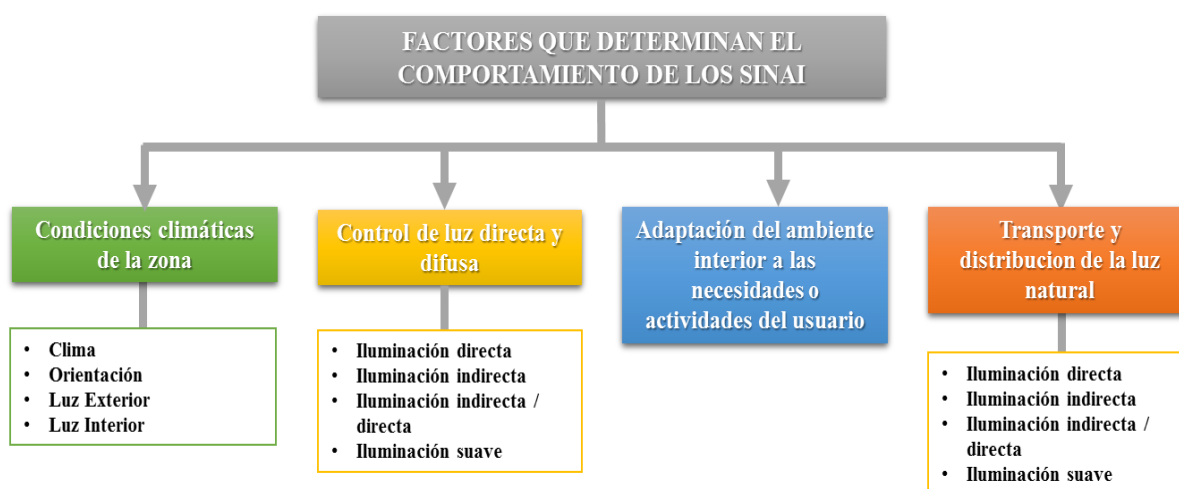


Figura 3: Factores que determinan el comportamiento de los SINAI. Los cuales son: a) Las condiciones climáticas de la zona, b) El control de la luz directa y difusa, c) La adaptación del ambiente interior a las necesidades o actividades del usuario y d) El transporte y distribución de la luz natural.

### 2.3.1. Las condiciones climáticas de la zona

Uno de los factores más importantes son las condiciones climáticas de la zona donde se ubica el edificio [36]. El clima varía constantemente durante todo el año (estaciones), también durante el transcurso del día con la posición del sol y la presencia de nubosidad; esto hace que la cantidad de luz varíe, así como su distribución lumínica; lo que afecta en la calidad lumínica y confort visual de un ambiente interior [38]. Siendo una desventaja de la iluminación natural, que ésta no es uniforme porque está en continuo cambio, a diferencia de la artificial [6]; así, se podría hablar de **calidades temporales** como una serie de criterios de rendimiento para lograr confort visual en un rango de percepción temporal en diferentes épocas durante todo el año [49], lo cual permite proporcionar un análisis más integral.

La CIE estableció tres tipos de distribución de luminancias de cielo basado en la medición de las particularidades regionales de la bóveda celeste: cielo de luminancia uniforme, cielo nublado y cielo claro [45, 23]. Estas son mejor explicadas por Cecilia Wolf [46]

- ✓ **Cielo de luminancia uniforme.** - este modelo representa un cielo con valores constantes de luminancia en todas las direcciones (cielo isótropo).
- ✓ **Cielo nublado.** - en este tipo de cielo la luminancia varía en relación a la elevación del ángulo respecto del cenit. En este caso, el cenit posee una luminancia aproximadamente tres veces mayor a la del horizonte y corresponde a la situación donde el cielo está cubierto con nubes y el sol no es visible. El color de la luz es blanco.
- ✓ **Cielo despejado.** - corresponde a un cielo sin nubes. La distribución de la luminancia en los cielos claros no es homogénea, y la luminancia se distribuye dejando el mayor brillo concentrado en torno al sol y en horizonte, dejando un área en externo oscura en el punto opuesto al sol, en el plano vertical a 90° desde la posición del sol.

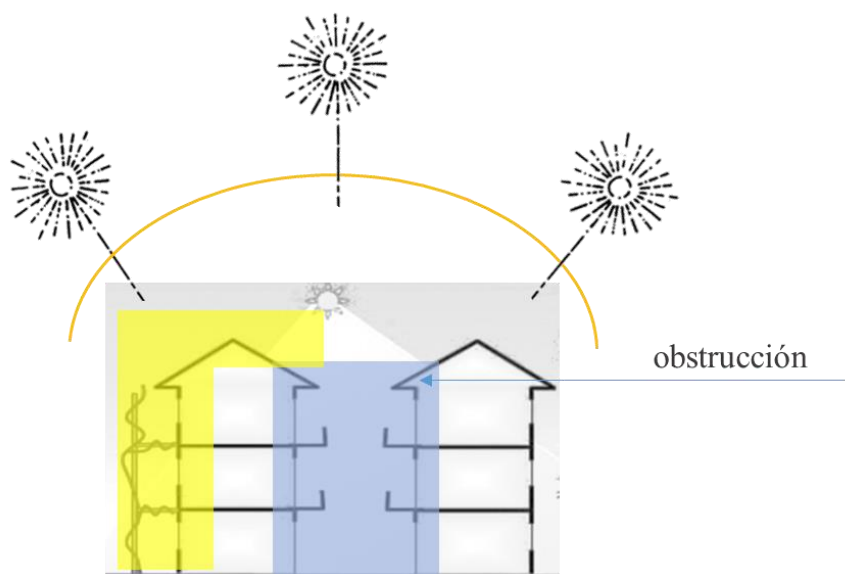
Bajo cielo claro se tiene uniforme distribución de la luminosidad; con una luminancia de 100.00 de lux y 40.000 a 50.000 lux de luz difusa [42]. Para el análisis posterior de los SINAI, se toma en cuenta la clasificación de tipos de climas que realiza Köppen.

#### ▪ **Orientación**

Tomando como pie forzado la ubicación y orientación del edificio existente. En este caso, la **orientación se utiliza para el funcionamiento de los SINAI de acuerdo a un clima determinado** (paneles solares, colectores, etc.); permitiendo que la luz exterior se proyecte hacia el interior en mayor grado, de acuerdo al tipo de cielo[41]. Dicha estrategia de diseño se toma en cuenta a partir de la mejora de los ambientes con mala orientación, efectivizando la obtención de niveles adecuados de calefacción, ventilación natural e iluminación natural [39].

#### ▪ **Luz exterior**

Para lograr una eficiente utilización de la iluminación natural dentro de un ambiente, se requiere información precisa sobre los niveles de iluminación exterior [41]. Existen tres componentes que determinan la **disponibilidad de iluminación exterior en un área y hora específica para un edificio, de acuerdo a las condiciones del lugar: altitud solar, nubosidad, insolación, radiación solar y la existencia de obstrucciones** [42]; medidos bajo planos vertical y horizontal como se muestra en la Figura N°4:



*Figura 4: Comportamiento de la luz exterior.* La figura muestra la disponibilidad de luz exterior en un área y hora determinada para un edificio, tomando en cuenta la altitud solar (a), nubosidad (b), insolación (c), radiación solar (d) y existencia de obstrucciones (e).

#### ▪ Luz interior

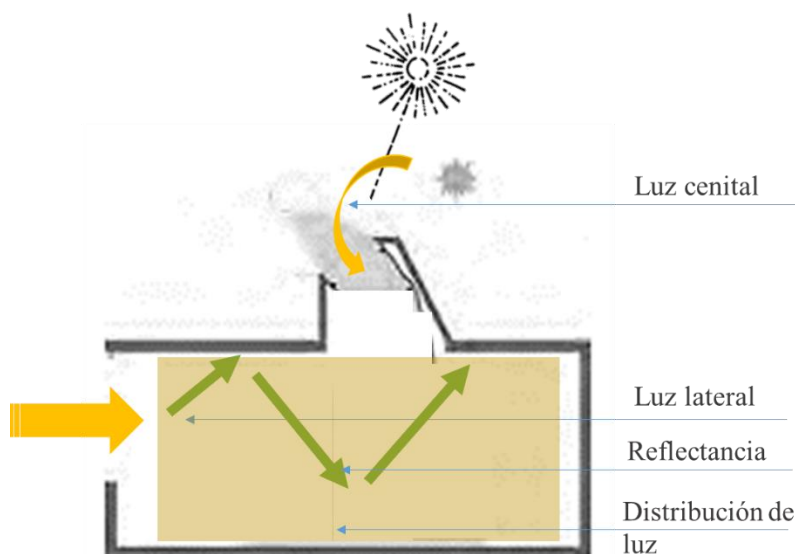
Indhava K. [42] identifica dos formas en que la luz del exterior penetra al interior de un ambiente:

- ✓ Abertura **Lateral** u horizontal. – la luz penetra al ambiente a través de ventanas de la fachada.
- ✓ Abertura **Cenital** o vertical. – la luz penetra al ambiente a través de claraboyas, pozos de luz, etc.

La iluminación lateral es adecuada para un plano de trabajo vertical, mientras que la iluminación superior es adecuada para un plano de trabajo horizontal; para un mejor rendimiento, es mejor la combinación de ambos. [42]. Los componentes que determinan el **nivel de luminancia interior son los siguientes: medición de la transmitancia de las superficies vidriadas o plásticas y medición de la reflectancia de las superficies** [41] (Figura N 5).

La norma UNE - EN 12464 sobre “Iluminación de entornos de trabajo de interior” [44], identifica tres efectos que debe cumplir la iluminación interior a partir de un adecuado diseño lumínico: funciones visuales, creación de efectos biológicos y la percepción emocional como la mejora del espacio a través de la iluminación y la creación de escenas y efectos. Así mismo, el estándar ISO 15469:2004(E), CIE S 011/E:2003 sobre “Cálculo de luminancia del cielo para procedimiento de diseño de iluminación natural,

bajo cielo claro y cielo nublado” [38]. Estos estándares ayudan a la medición de calidad y cantidad lumínica en diferentes tipos de ambientes, cuyas definiciones se verán en líneas posteriores.



*Figura 5: Comportamiento de la luz interior.* La figura muestra la disponibilidad de luz interior en un ambiente, donde intervienen: la transmitancia (a), reflectancia (b), ingreso de luz cenital y lateral (c) y la distribución de luz (d).

De acuerdo al tipo de clima, procederá un tipo de SINAI con un funcionamiento específico en cuanto a transporte de luz (fenómenos físicos de propagación de la luz) y al modo de **ingreso de luz** (luz cenital y lateral), por ejemplo: para climas cálidos se optará por sistemas de recolección cenital de luz [36], nublados [6], tropicales, etc.

### 2.3.2. Control de luz directa y difusa

La relación existente entre el tipo de luz (directa o difusa) y el sistema a plantearse es una condición importante [7] en los SINAI, de esto depende el tipo de fenómeno físico de propagación de la luz a utilizarse y por consiguiente, asegurar el correcto funcionamiento del sistema [35].

Jaiver Neila en su libro “Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico”, diferencia a la luz Directa de la difusa porque la primera produce deslumbramiento, reflejos y perturbación para cualquier actividad laboral [19]. Para evitar la luz directa habrá que utilizar elementos que conviertan la radiación directa en difusa, a esto se llama sistemas pasivos de control de luz natural [19]. El Grupo Zumtobel [43] y de acuerdo al estándar UNE-EN 12464-1:2012 [44], presenta una clasificación interesante de tipos de iluminación interior, los cuales van adaptados al tipo de necesidad del usuario y las condiciones que ofrecen mayor eficiencia energética, estos son:

- **Iluminación Directa**

Altamente direccional, reflejos en ciertos ángulos, techo oscuro (alto contraste), poca flexibilidad de usos (pocos espacios adecuados para actividades cotidianas), alta eficiencia energética (fuente directa de energía solar).

- **Iluminación Indirecta o Difusa**

El ambiente debe tener altura considerable, no ocasiona reflejos, flexibilidad de usos suficiente, baja eficiencia energética (fuente indirecta de energía solar).

- **Iluminación Suave**

Re direcciona la luz exterior y la densifica (trabaja con luz difusa y directa), no ocasiona reflejos, deslumbramientos, contrastes, reducción de los niveles de luminancia en todos los ángulos de visión, percepción agradable del ambiente, percepción agradable del espacio y flexibilidad de usos en todo el espacio.

De la clasificación anterior, la más **eficiente es la iluminación Suave**, porque logra controlar ambos tipos de luz; tomando en cuenta que el clima va cambiando constantemente, y bajo ciertas condiciones climáticas podemos tener luz directa y difusa en un mismo día [6, 46], Figura N°6, **permitiendo así el planteamiento de un sistema complejo con varios usos y posibilidades**, como por ejemplo la absorción de luz como fuente de energía y la instalación de luz natural en diferentes ambientes, Figura N°7, ya sean profundos o con ventana hacia la fachada.

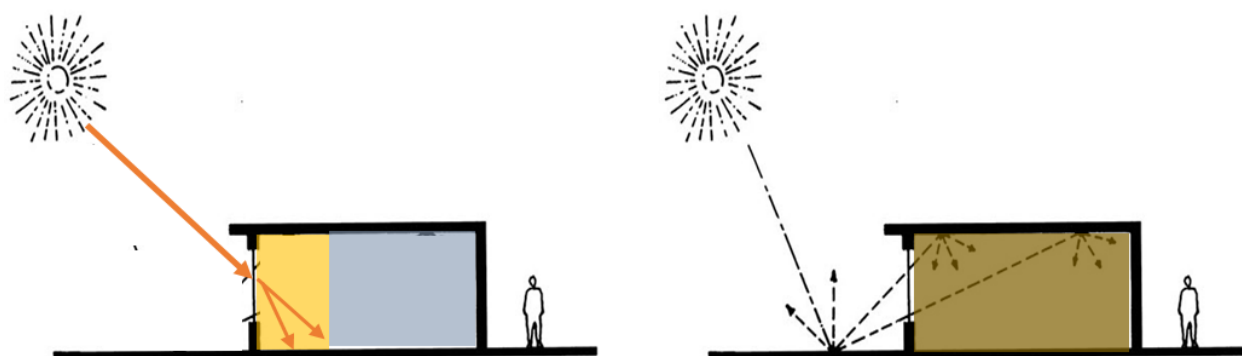
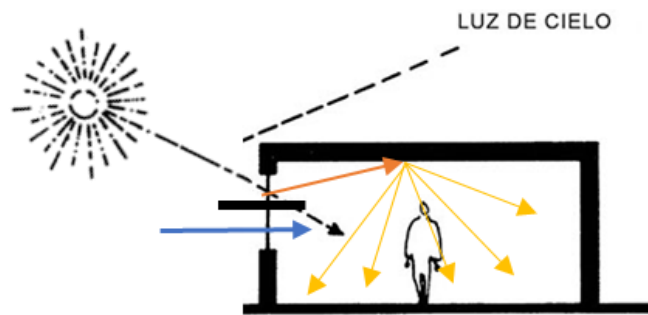


Figura 6: **Luz directa y difusa**. Izquierda: como se observa en figura, la luz directa ingresa al ambiente ocasionando deslumbramiento (a), sombra (b) y contrastes (c). Derecha: mientras que la luz difusa no ocasiona las molestias de la luz directa, pero el nivel lumínico (d) del ambiente no es suficiente para lograr confort visual.



*Figura 7: Luz suave.* Como se ve en la figura, la combinación del uso de luz directa y difusa a través de sistemas de control lumínico logrando proporcionar al ambiente con iluminación adecuada y bien distribuida

### 2.3.3. La adaptación del ambiente interior a las necesidades y actividades del usuario.

Este factor se relaciona la definición de **confort ambiental** y los SINAI como herramienta de logro de este confort para los usuarios. Kischkoweit-Lopin, explica que la función más importante que debe cumplir un sistema de iluminación natural en espacios interiores, es la **adaptación de estos sistemas a las necesidades de las personas** en relación a un tipo de clima determinado [36].

Cumpliendo con esta afirmación, se puede hablar de **Bienestar Visual** [19] cuando observamos objetos y realizamos tareas visuales sin molestias gracias a la adecuada combinación de calidad y cantidad de iluminación; y que se alcanza a través de:

- ✓ Nivel de iluminación adecuado
- ✓ Ausencia de deslumbramiento
- ✓ Reproducción cromática correcta

Así mismo, las siguientes características hacen que se logre la adaptación del ambiente interior a las actividades y necesidades del usuario [7, 36, 23, 35]:

- ✓ Deslumbramiento
- ✓ Distribución de la luz homogénea
- ✓ Contraste
- ✓ Sombra
- ✓ Brillo



Estas condiciones (cantidad y calidad de iluminación) varían de acuerdo a cada tipo de actividad que realiza el usuario en un ambiente, por lo que en relación al tipo de actividad se puede determinar los niveles de iluminación adecuados, como se ve en la Figura N°8:



*Figura 8: Adaptación lumínica a un ambiente.* En la figura se observa la adaptación lumínica de un ambiente de acuerdo a las actividades que realiza el usuario, donde incide la calidad y cantidad de luz.

#### **2.3.4. El transporte y colocación de la luz natural a partir de fenómenos físicos de propagación de la luz**

El transporte y distribución de la luz desde el exterior hacia el interior de un edificio depende de factores ópticos y arquitectónicos. Nair, K. y A. Ganesan, mencionan que la forma apropiada para el transporte de luz natural, se basa en los **enfoques de los fenómenos físicos de la propagación de la luz**, con el fin de mejorar la iluminación de los diferentes ambientes de forma natural [35]. Para ello, es importante el diseño de los sistemas lumínicos naturales del edificio [47].

Javier Neila menciona tres elementos mediante los cuales se produce el transporte y distribución de la luz natural hacia el interior del edificio: conducción de la luz, paso de la luz y control de la luz [19].

- **Elementos de conducción de la luz**

Corresponde a los **espacios que proyectan y distribuyen directa o indirectamente la luz** interior a través de un componente de paso. Como: galerías acristaladas, porches acristalados, invernaderos, patios con acristalamiento, atrios acristalados, conductos de luz, conductos solares, etc.

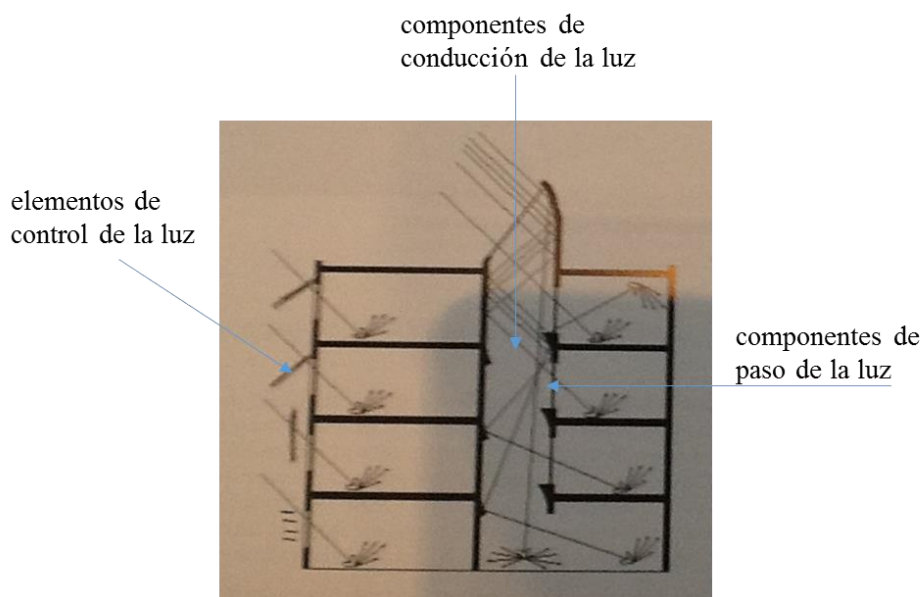
- **Elementos de paso de la luz**

Corresponden a elementos constructivos que conectan dos ambientes luminosos permitiendo el paso de la luz de uno hacia al otro. Como: ventanas, ventanales en fachada, muros cortina, muros forjados translucidos, lucernarios y claraboyas.

#### ▪ Elementos de control de la luz

Corresponde a **dispositivos** pasivos y activos **que permiten y controlan** (dirección e intensidad) **el paso de la luz** a través de componentes de paso. Como: vidrios, persianas, cortinas o los toldos, separadores prismáticos, filtros solares, pantallas flexibles o rígidas, etc.

Si bien estos tres elementos están mencionados para el diseño arquitectónico involucrados en la iluminación natural de un edificio (diseño del proyecto) [19, 48], también influyen en el diseño y la elección de los SINAI para una edificación existente, ya que, de acuerdo al tipo de clima, y a las necesidades del usuario, la ubicación y condiciones lumínicas del ambiente; dependerá que elementos a de utilizarse en los sistemas de transporte y distribución de la luz, como se observa en la Figura N°9:



*Figura 9: Elementos para el diseño de los sistemas lumínicos.* En la figura se muestra los elementos mediante los cuales se produce el transporte y la distribución de la luz natural: conducción de luz (a), control de luz (b), paso de luz (c).

## 2.4. Funcionamiento de los SINAI

Para asegurar el buen desempeño de los SINAI, se ha tomado como método de estudio a la “Óptica”, que comprende:

- ✓ Los fenómenos físicos de propagación de la luz.
- ✓ La geometría óptica.

Verónica, García-Hansen e Ian Edmonds, dicen que para el buen desempeño de un sistema de iluminación natural es importante el uso de un método de recolección adecuado de la luz ambiental, la transmisión y la distribución de la luz [51], en el caso de edificios de varios niveles. Llamándolo: “*La constitución de desafíos técnicos significativos en un plan de iluminación natural al interior de un edificio de varios niveles*”.

Más aun cuando se tiene condicionantes arquitectónicas pre-existentes [28], para el caso de la rehabilitación energética. A continuación, se describe los dos métodos que trabajan en **simbiosis**. **El primero actuando como un medio de propagación de la luz** (cálculos física) [36], y **el segundo asegurando el buen desempeño de medio de propagación** (cálculos matemáticos) [51].

#### 2.4.1. Fenómenos físicos de propagación de la luz

La aplicación de los fenómenos físicos de propagación de la luz sirve para determinar el tipo de transporte de luz natural hacia el interior de un edificio. Resultando ser un **medio de propagación y transporte de la luz natural** de acuerdo a las condiciones existentes [36] y **características arquitectónicas de un edificio**. Para lo cual utilizaremos definiciones físicas sobre óptica y fenómenos de la luz, en este caso se ha tomado como referencia los conceptos desarrollados por Paul Tipler y Gene Mosca [50]: “*La propagación de una onda cualquiera a través del espacio se realiza a partir de métodos geométricos como el Principio de Huygens*”.

Para el entendimiento de los fenómenos físicos de la propagación de la luz, se debe tomar en cuenta los elementos utilizados en el análisis de la óptica y el **índice de refracción**; que es la fracción de energía reflejada en un límite de superficie que depende del ángulo de incidencia, de la orientación del vector de y la velocidad relativa de la luz en el primer y segundo medio; esta velocidad de la luz que pasa por un determinado medio (vidrio, aire, agua, etc).

Se utiliza la letra “*n*” para representar el índice de refracción del material, y se calcula por la siguiente fórmula:

$$n = \frac{c_0}{v}$$

*Ecuación 1: Índice de refracción*

Dónde:  $n$  = índice de refracción del medio en cuestión  
 $c_0$  = velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  m/s)  
 $v$  = velocidad de la luz en el medio en cuestión

Es decir, es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio. Tal como se muestra en la Figura N°10, dado que la velocidad de la luz en cualquier medio es siempre menor que en el vacío, el índice de refracción será un número siempre mayor que 1. En el vacío:  $n=1$ ; En otro medio:  $n>1$

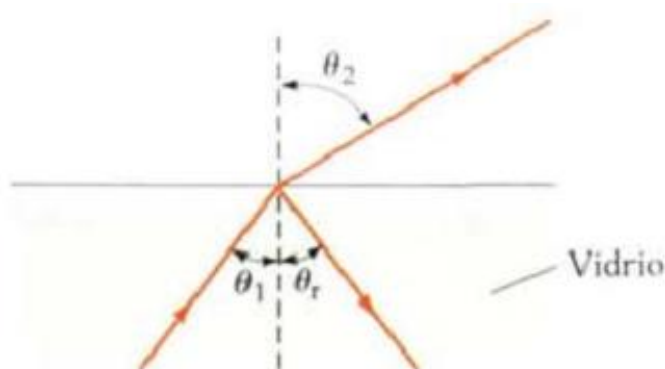


Figura 10: **Diagrama del índice de Refracción** de un medio denso a otro menos denso. En este caso, el ángulo de refracción es mayor que el de incidencia; y el rayo de luz se desvía alejándose de la normal. Fuente: [50]

#### ▪ Reflexión

Se da cuando las ondas electromagnéticas se topan con una superficie que no absorbe energía radiante; unas ondas de cualquier tipo inciden sobre una barrera plana como un espejo y se generan nuevas ondas que se mueven alejándose de la barrera.

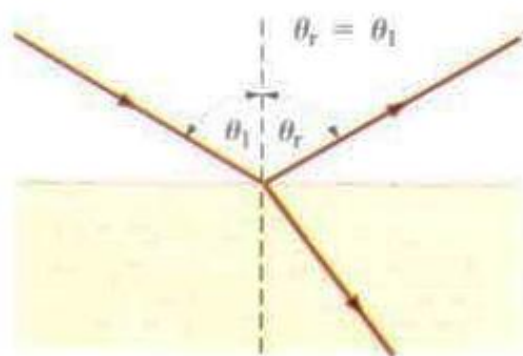


Figura 11: **Diagrama geométrico de la Reflexión**. El ángulo de reflexión  $\theta_r$  es igual a ángulos de incidencia  $\theta_1$ . Fuente: [50]

La Figura N°11 muestra un rayo de luz que incide sobre una superficie lisa (aire-vidrio). El ángulo  $\theta_1$  entre el rayo incidente y la normal (la recta perpendicular a la superficie) se denomina ángulo de incidencia y el plano definido por ambas líneas recibe el nombre de plano de incidencia. El rayo reflejado yace en el plano de incidencia y forma un ángulo  $\theta_r$  con la normal que es igual al ángulo de incidencia:

$$\theta_1 = \theta_r$$

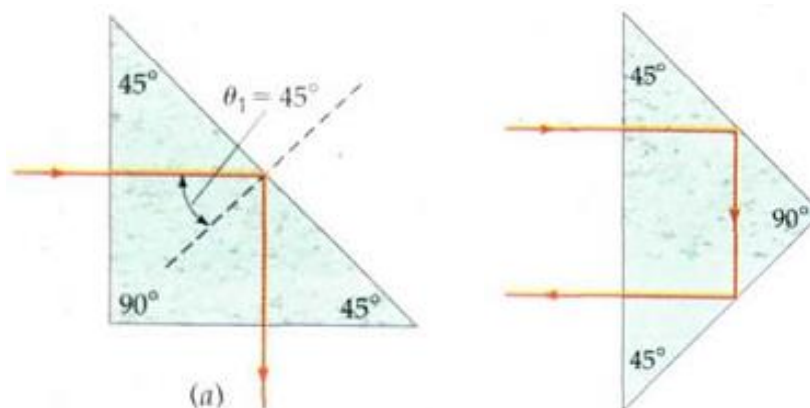
*Ecuación 2: Ángulo del rayo incidente y la normal*

Solo alrededor del 4% de la energía se refleja, el resto se transmite. Se tiene dos tipos de reflexión: a) **Especular:** es la reflexión en una superficie suave y lisa; y b) **Difusa:** se da en una superficie rugosa, los rayos entran en el ojo procedentes de muchos puntos de reflexión en la superficie de modo que no existe una imagen.

#### ▪ Refracción por Prisma

La Refracción se da cuando un haz de luz incide sobre una superficie límite de separación entre dos medios, tal como una superficie aire-vidrio, parte de la energía luminosa se refleja parte entra en el segundo medio.

En el caso de un Prisma o el comportamiento de un bloque de vidrio, se analiza la Figura N°12. La luz incide perpendicularmente a la hipotenusa del mismo tipo de prisma y se refleja totalmente dos veces, de modo que emerge a  $180^\circ$  respecto a la dirección inicial.

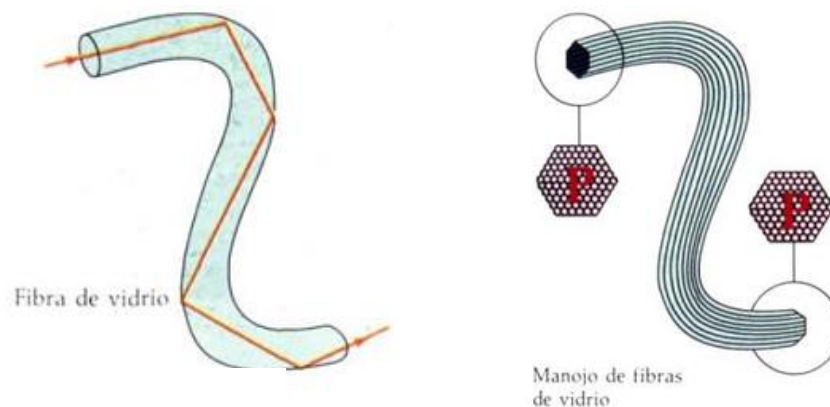


*Figura 12: Diagrama gráfico de la refracción por Prisma. Izquierda: La luz que entra por uno de los catetos de un prisma rectangular isósceles se refleja totalmente dentro del prisma y emerge a través del otro cateto en dirección que forma un ángulo de  $90^\circ$  con la luz incidente. Derecha: La luz que entra por la hipotenusa del prisma se refleja totalmente dos veces y emerge en la misma dirección, pero con sentido opuesto a la luz incidente. Fuente: [50]*

Las primas se utilizan para variar la dirección de los rayos luminosos. En los llamados prismáticos se utilizan cuatro prismas para enderezar la imagen que las lentes del sistema óptico dan invertidas.

#### ▪ Refracción por Haz de luz

O reflexión total interna. Es la transmisión de un haz de luz a lo largo de una fibra de vidrio transparente, delgada y larga, como se ve en la Figura N°13:



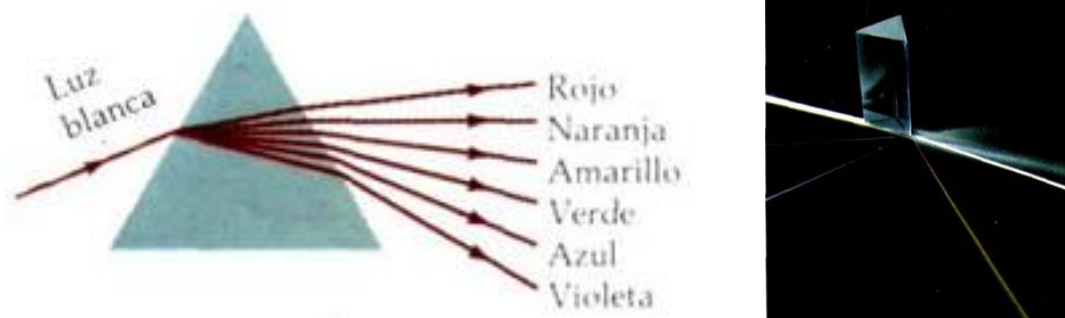
*Figura 13: Diagrama geométrico de la Refracción por Haz de luz.* Izquierda: Un tubo de luz. La luz del interior del tubo incide sobre las paredes siempre con un ángulo mayor que el crítico, de modo que no escapa ninguna luz de dicho tubo. Derecha: La luz procedente de un objeto se transporta por un manojo de fibras de vidrio para formar una imagen del objeto en el otro extremo de las fibras o tubo de fibras.

*Fuente: [50]*

Si el haz empieza aproximadamente paralelo al eje de la fibra chocará contra las paredes de la misma con ángulos mayores que el ángulo crítico, y no se perderá energía lumínica a través de las paredes de la fibra.

#### ▪ Difusión o dispersión

El índice de refracción de una sustancia tiene una ligera dependencia con la longitud de onda. Esta dependencia del índice de refracción con la longitud de onda (y por lo tanto con la frecuencia) se denomina dispersión, tal como se observa en la Figura N°14:



*Figura 14: Diagrama geométrico de la Dispersión. Izquierda:* Un haz de luz blanca incidente sobre un prisma de vidrio se dispersa en sus colores componentes. *Derecha:* El índice de refracción disminuye cuando aumenta la longitud de onda de modo que las longitudes de onda más largas se desvían más (rojo) que las longitudes de onda más cortas (azul). *Fuente:* [50]

Cuando un haz de luz blanca incide formando un cierto ángulo con la superficie de un prisma de vidrio, el ángulo de refracción correspondiente a las longitudes de ondas más cortas hacia el extremo violeta del espectro visible es ligeramente mayor que el correspondiente a longitudes de onda más largas hacia el extremo rojo del espectro. Por consiguiente, la longitud de onda más corta se desvía más que la luz de longitudes de onda más largas. Entonces, **el haz de luz blanca se esparce o dispersa en sus colores** o longitudes de onda componentes.

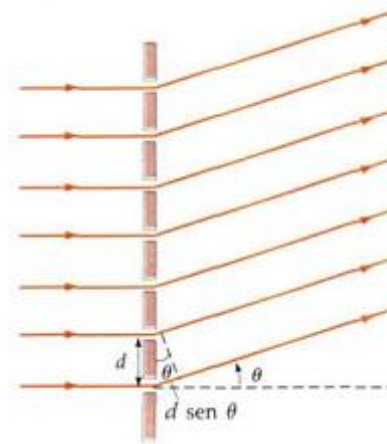
#### ▪ Polarización por Absorción

La polarización se da cuando en toda onda transversal, la vibración es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Si la vibración de una onda transversal se mantiene paralela a una línea fija en el espacio, se dice que la onda está **polarizada linealmente**. Análogamente, si el extremo de la cuerda mueve con velocidad constante describiendo una circunferencia, la onda resultante se dice que está **polarizado circularmente**. Algunos cristales que se encuentran en la naturaleza, si se cortan de forma apropiada, absorben y transmiten la luz de forma diferente dependiendo de la polarización de la luz; estos cristales pueden ser utilizados para obtener luz polarizada linealmente.

#### • Difracción

Se produce difracción siempre que una porción de una fuente de onda se encuentre limitada por un obstáculo o abertura. La intensidad de la luz en un punto cualquiera del espacio puede calcularse mediante el empleo del principio de Huygens, considerando como cada punto del frente de onda en una fuente o foco puntual y calculando el diagrama de interferencia resultante (Figura N°15).

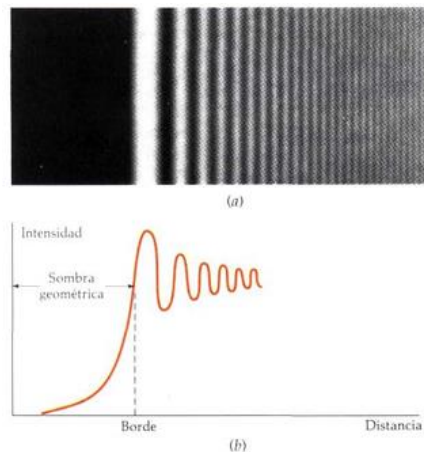
La difracción de la luz suele ser difícil de observar porque la longitud de onda es muy pequeña o porque la intensidad de la luz no es lo suficientemente intensa.



*Figura 15: Diagrama geométrico de la Difracción.* La luz que incide normalmente sobre una red de difracción, para un ángulo  $\theta$ , la diferencia de caminos entre rayos procedentes de redijas adyacentes es  $d \sin \theta$ .

*Fuente: [50]*

Un ejemplo de ello es la **difracción de Fresnel**, que se produce cuando el diagrama de difracción se observa cerca de una abertura o de un obstáculo; y debido a su complicada geometría, este diagrama es mucho más difícil de analizar. En la Figura N° 16 se muestra el diagrama de difracción de Fresnel de sobre un borde recto, se observa que la intensidad lumínica se va perdiendo. Este fenómeno es importante porque trabaja bajo condiciones de iluminación de baja intensidad.



*Figura 16: Diagrama geométrico de la Difracción de Fresnel.* *Arriba:* Difracción Fresnel de un borde recto en fotografía. *Abajo:* Representación gráfica de la intensidad en función de la distancia a lo largo de una recta perpendicular a dicho borde. *Fuente: [50]*



También se debe considerar a la **Difracción de Hologramas**; que es una aplicación de redes de difracción que consiste en la producción de una fotografía tridimensional. En un holograma, un haz procedente de un láser se descompone o divide en dos haces, un haz de referencia y un haz de objeto; el haz de objeto se refleja en el objeto a fotografiar y el diagrama de interferencia entre él y el haz de referencia se registra sobre una película fotográfica. Esto puede hacerse porque el haz de láser es coherente, de modo que puede mantenerse constante la diferencia de fase relativa entre el haz de referencia y el haz objeto durante la exposición; así, cuando se ilumina con un láser la película, se produce una réplica tridimensional del objeto, como se ve en la Figura N°17.



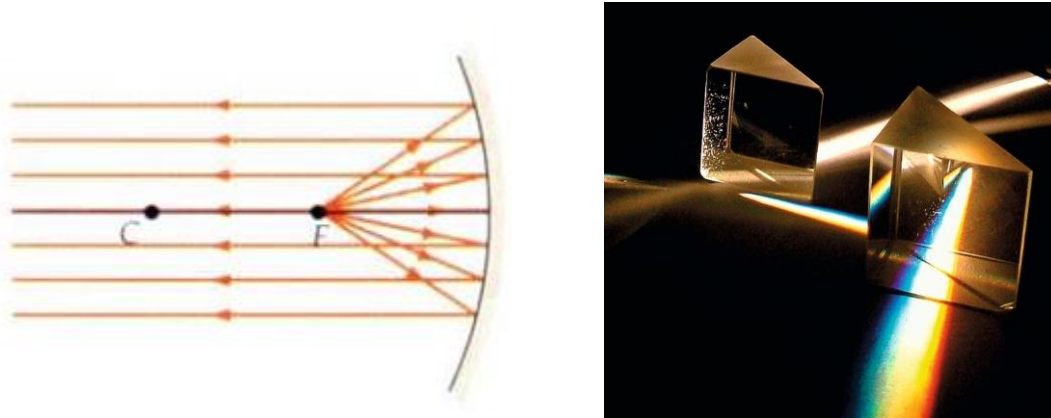
*Figura 17: Diagrama geométrico de la Difracción holográfico.* Diagrama de una estatuilla, cuando posteriormente se ilumina con luz láser la placa de vidrio, la estatuilla aparece en forma de imagen tridimensional. *Fuente:* [50]

#### 2.4.2. Óptica geométrica

La óptica geométrica es utilizada para el cálculo dimensional o matemático de la propagación o transporte de luz, de acuerdo al tipo de sistema a utilizarse, lográndose que la luz absorbida o captada pueda llegar a su punto de iluminación con la misma o mayor intensidad que la captada [51]; en otras palabras, **asegura el comportamiento eficiente del sistema en función a las características arquitectónicas del edificio**, tomando en cuenta por ejemplo: la ubicación y profundidad del espacio, las alturas y otros.

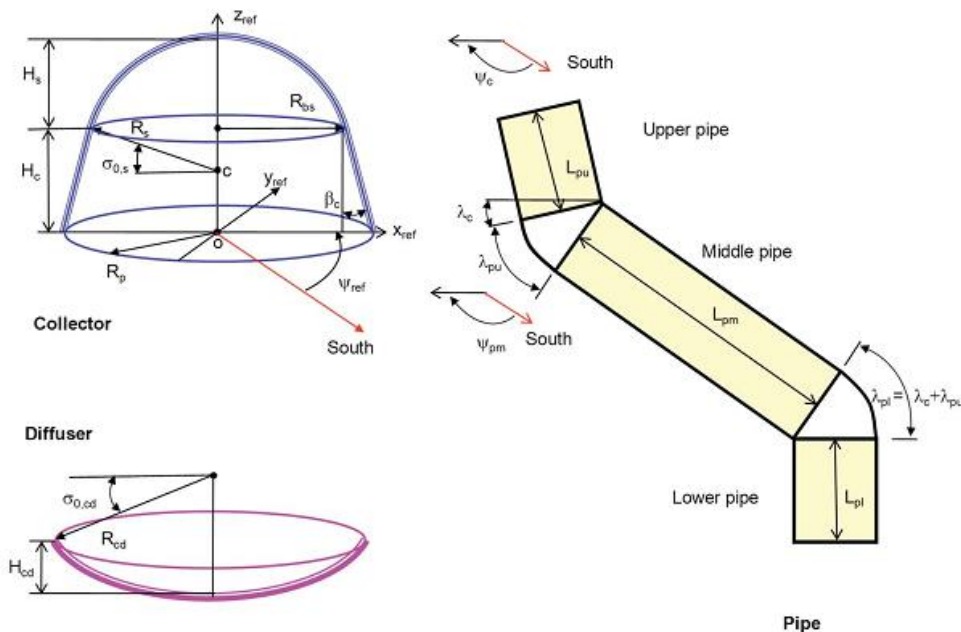
Se conoce como **óptica geométrica**, al estudio de casos en los cuales se aplica una **aproximación geométrica en línea recta de la luz hacia puntos dirigidos de acuerdo a un cálculo matemático, a partir de la formación de imágenes por espejos y lentes** [50]. La longitud de onda de luz suele ser muy pequeña en comparación con el tamaño de los obstáculos o aberturas que se encuentran a su paso

y pueden despreciarse en general los efectos de la difracción. Se muestra en la Figura N°18 como se toma en cuenta el **punto focal**:



*Figura 18: Geometría óptica. Izquierda: Diagrama del punto focal, los rayos divergen de un foco puntual situado en el punto focal de un espejo cóncavo se reflejan en el espejo como rayos paralelos. Fuente: [50] Derecha: Comportamiento de la luz, a partir del comportamiento de los fenómenos físicos de propagación de la luz. Fuente: © Bibliographisches Institut, Berlin*

Un ejemplo de ello son los Colectores solares, Figura N°19, un colector puede adoptar diversas formas, incluyendo una cúpula hemisférica, una forma cónica, o una combinación de una cúpula hemisférica superior y un tronco de cono inferior [52].



*Figura 19: Diagrama del cálculo geométrico para el funcionamiento del colector y tubo de luz. La figura muestra varias formas de colectores y un tubo de luz. El colector es caracterizado por la altura ( $H_s$ ), radio de la*

base (RBS) y el ángulo de truncamiento ( $\sigma$ , s) de la cúpula hemisférica superior, y la altura (Hc) y medio ángulo ( $\beta$ c) de la sección cónica. El colector puede ser inclinado para hacer frente a una dirección dada con un ángulo de inclinación ( $\lambda$ c) de la horizontal y un ángulo de azimut ( $\psi$  c) desde la dirección sur. El tubo se caracteriza por su radio (Rp), y longitudes de la parte superior, media y secciones inferiores (LPU, Lpm, LPL).

El eje de revolución del tubo superior coincide con la revolución eje del colector, y el tubo se une con el centro tubería usando un codo de un ángulo ( $\lambda$ pu). El tubo medio puede estar orientada hacia una dirección dada con un ángulo azimut (Pm  $\psi$ ) con respecto a la dirección sur. El tubo inferior es vertical y se une con el tubo de medio usando un codo con un ángulo ( $\lambda$ pL). El difusor de techo hemisférica se caracteriza por su altura (HCD) y el ángulo de truncamiento ( $\sigma$  0, cd). *Fuente:* [52]

La óptica geométrica utiliza diferentes fenómenos físicos de propagación de la luz, de acuerdo a las condicionantes arquitectónicas y estructurales del edificio, y de las necesidades lumínicas del ambiente. Así, algunos sistemas han de transportar luz (por ejemplo: haz de luz), re-direccionan la luz (paneles prismáticos), colectan luz (sistemas captadores de luz mediante paneles solares o parabólicos) o simplemente se comportan como puntos de iluminación al interior (fibra de luz y luces led); como se ve en el Ítem 5 (clasificación de los SINAI).

## 2.5. Calidad de los SINAI y la Eficiencia Energética

La calidad de los SINAI está relacionada con la Eficiencia Energética desde el punto de vista de la calidad y cantidad de luz, porque al ser estos valores subjetivos y objetivos (respectivamente) se prestan a la comparación de las mediciones obtenidas con parámetros [23], estándar o normas [58] que dan cuenta del Rendimiento Visual de un ambiente.

El **Rendimiento Visual** se obtiene utilizando los conceptos de Calidad y Cantidad de Luz [19], en el que intervienen: el individuo, el objeto y la iluminación; y cuyas características devienen de su comportamiento para lograr una adecuada iluminación natural interior. En la Figura N° 20 se representa esquemáticamente este proceso:

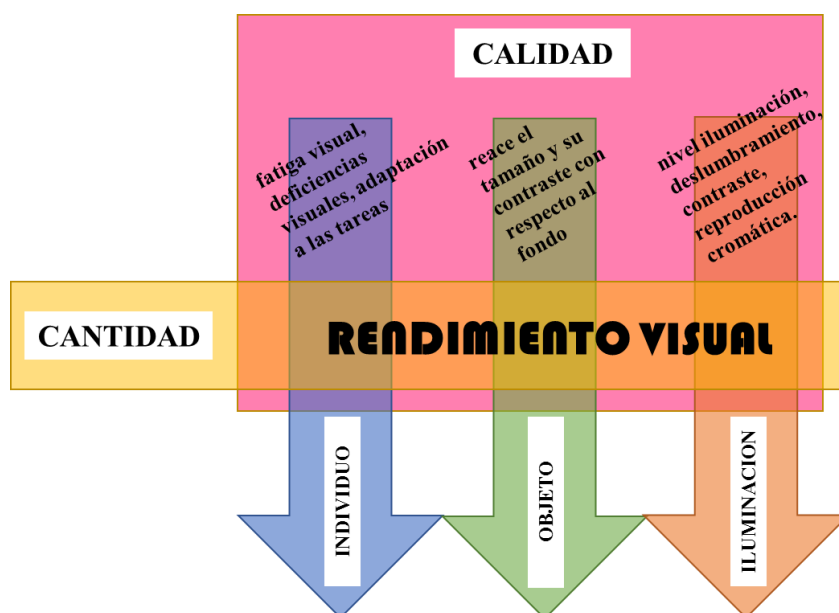
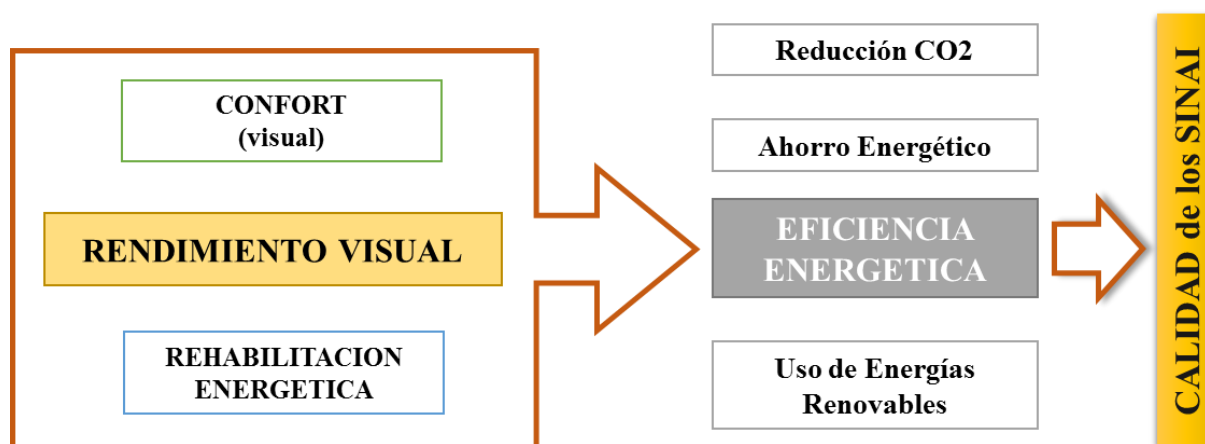


Figura 20: **Obtención del rendimiento Visual a partir de la calidad y cantidad de luz.** Cuando existe la interacción y el control de las características de cada elemento: Individuo - Objeto – Iluminación; se obtiene un adecuado rendimiento visual.

Por lo tanto, el Rendimiento Visual mide el comportamiento de los SINAI a partir de la comparación de valores (subjetivos y numéricos) con otro estándar [58]; de tal manera que el resultado permita diferenciar si un sistema es **Eficientemente Energético** o no. Esta valoración responde a la Calidad de los SINAI en relación a la Rehabilitación Energética de edificios existentes, los cuales deben cumplir las “actuaciones de reforma” [8] tal como indica el Ítem 2.1.1; y que se representa en la Figura N° 21.

Así también, como se observa en la figura superior, el Confort Térmico está relacionado con rendimiento visual, porque cuando se habla de calidad, se relaciona a la percepción del usuario con respecto a un espacio interior (confort ambiental) [19]; y cuando se habla de cantidad, se relaciona con los niveles de iluminación para que el usuario pueda realizar una tarea determinada sin ninguna molestia y de forma segura [44].



*Figura 21: Esquema del proceso para la Calidad de los SINAI, a partir del Rendimiento Visual y como resultado en comportamiento energéticamente eficiente de un edificio rehabilitado (concerniente a la instalación de sistemas de iluminación natural). Fuente: Elaboración propia.*

### 2.5.1. Calidad y Cantidad de luz

La cantidad y calidad de luz son el reflejo innato de los factores, el funcionamiento y las cualidades que determinan el comportamiento específico de un sistema de iluminación natural con respecto a otro. Esta comparación de sus valores en relación a mediciones estandarizadas o normalizadas, aseguran el comportamiento eficiente de cualquier sistema de iluminación natural cuando éste es integrado adecuadamente [23]. Así, algunos de estos valores derivan de la medición de las distancias, alturas, formas y reflectancia al exterior e interior del edificio [57]; tomando en cuenta que los SINAI responden a las condiciones climáticas, a las necesidades del usuario y las características arquitectónicas del edificio [58].

La norma AENOR. UNE-EN 12464-1:2012, conceptualiza al **Ambiente Luminoso** como aquella “iluminancia” requerida para satisfacer las necesidades cualitativas y cuantitativas [44]; y cuyos requisitos de iluminación son determinados por la satisfacción de tres necesidades humanas básicas [44]:

- ✓ Confort visual [21], en el que los trabajadores tienen una sensación de bienestar, de un modo indirecto, también contribuye a un elevado nivel de productividad.
- ✓ Prestaciones visuales [20], en el que los trabajadores son capaces de realizar sus tareas visuales, incluso en circunstancias difíciles y durante periodos más largos.
- ✓ Seguridad

El EIA indica que, para el **cálculo del rendimiento de los sistemas de iluminación natural**, se deben utilizar parámetros para medir tanto la cantidad y calidad de la luz natural [23]; los cuales, en el caso de los sistemas estudiados por la EIA, han sido evaluados por procedimientos de control estándar en cámaras de ensayo en edificios reales; estos pueden ser:

- ✓ Para la cantidad: iluminancia y luminancia.
- ✓ Para la calidad: la comodidad visual y aceptabilidad de los niveles de iluminación

La **Iluminancia** es el flujo luminoso recibido o emitido por unidad de superficie, y se mide:

$$W/m^2, \text{lumen}/m^2 \text{ ó mediante } lux$$

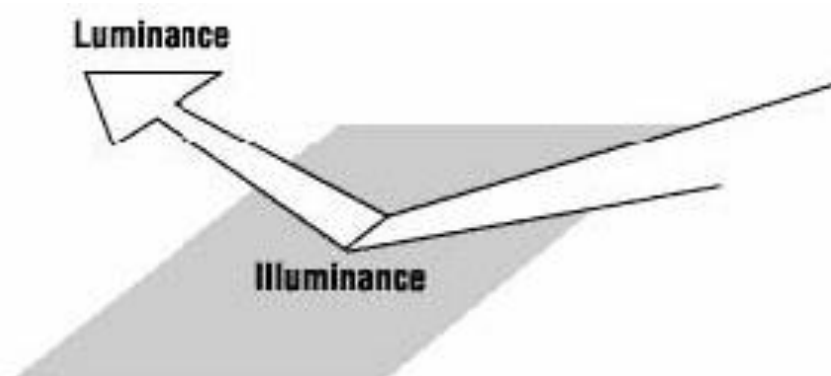
*Ecuación 3: Unidades de medición de la Iluminancia. Fuente: [19]*

Las iluminancias o niveles de iluminación de los ambientes en los que nos movemos, y a las que debe adaptarse el ojo, son muy variadas, desde menos de 01 lux en noche de luna, hasta 100000 en un día despejado de verano. La **Luminancia** es la intensidad luminosa recibida por unidad de superficie, y se mide:

$$candela/m^2$$

*Ecuación 4: Unidad de medición de la Luminancia. Fuente: [19]*

Los objetos se perciben gracias a que existe contraste de luminancias entre ellos, si existe contraste o luminancia excesiva puede causar deslumbramientos. En la Figura N°22, se explica la Iluminancia y Luminancia.



*Figura 22: Iluminancia y Luminancia para Luz Directa, la primera choca o refleja sobre una superficie ( $cd/m^2$ ) mientras que la segunda se proyecta en el ámbito del ambiente interior ( $W/m^2, lux$ ). Fuente: [79]*

Un punto importante a estudiar sobre los SINAI, es la forma como chocan o reflectan los rayos de luz sobre las superficies, llamado también **Reflectancia**; y que es la relación entre la cantidad de luz que incide sobre una superficie y la cantidad de luz que se refleja desde la misma superficie [79], esta relación se mide con el coeficiente de luminancia:

$$\frac{\text{candela}}{\text{lumen}}$$

*Ecuación 5: Unidad de medición de la Reflectancia*, que es el coeficiente de luminancia. *Fuente:* [3]

El coeficiente de luminancia de una superficie depende de la naturaleza de la superficie y la geometría entre la iluminación, la superficie y el observador [79], sean estas, parte de los dispositivos de iluminación o sobre las superficies de un ambiente interior; teniendo superficies “difusamente - reflectantes” y “no difusamente - reflectantes”. Las cuales podemos calcular a partir de la iluminancia, luminancia y reflectancia, existiendo diferentes valores del factor de luminancia, que intervienen en el cálculo de la Iluminación en un ambiente como se muestra en The SLL Lighting Handbook [79] y que intervienen en el cálculo para la determinación de la Cantidad y Calidad de la luz, y de los cuales se obtiene el rendimiento visual; los más importantes se muestran en la Tabla N°1:

Medida	Definición	Unidad
Flujo luminoso	Es la cantidad de flujo radiante que expresa la capacidad de producir sensación visual.	<i>lumens</i> (lm)
Intensidad luminosa	Es el flujo luminoso emitido en un cono muy estrecho, que contiene la dirección dada dividida por el ángulo sólido del cono, es decir: flujo luminoso por unidad ángulo sólido	<i>candela</i> (cd)
Iluminancia	Es el flujo luminoso por unidad de superficie en un punto determinado de esta superficie.	$\frac{\text{lumen}}{m^2}$
Luminancia	Es el flujo luminoso emitido en una determinada	$\frac{\text{candela}}{m^2}$

	dirección dividida por el producto del área proyectada del elemento, perpendicular a la dirección y el ángulo sólido que lo contiene, es decir, la intensidad luminosa por unidad de área.	
Coeficiente luminoso	Es la relación de la luminancia de una superficie sobre la que incide la iluminación.	$\frac{\text{candela}}{\text{lumen}}$
Reflectancia	Es la relación entre el flujo luminoso reflejado desde una superficie hasta el flujo luminoso que incide sobre ella.	
Factor luminoso	Es la relación de la luminancia de una superficie reflectante visto desde una dirección dada a la de perfectamente una superficie difusora uniforme blanca, iluminado de forma idéntica. Para superficies difusas:  Para superficies no difusas: (con una dirección específicas y geometría óptica).	$\frac{\text{luminance}}{\pi} = \frac{(\text{iluminancia} \times \text{reflectancia})}{\pi}$ $\frac{\text{luminance}}{\pi} = \frac{(\text{iluminancia} \times \text{factor lumínico})}{\pi}$

Tabla 1: Unidades fotométricas, que trabajan para cálculo de la Cantidad y Calidad de luz.

Partiendo del objetivo de “satisfacción de las necesidades humanas básicas” [44], y teniendo en cuenta de Calidad y Cantidad de luz tiene un campo de acción distinto, en la Tabla N°2 se expone algunas de las diferencias más relevantes.



Cantidad de Luz	Calidad de Luz
<p>Es <b>objetivo y medible</b>. Brinda datos numéricos que permiten una comparación concreta entre resultados distintos que se aproximan o no estándares de iluminación natural interior [58] requeridos para lograr el confort visual de usuario.</p>	<p>Es <b>perceptivo y relativo</b>. Porque de acuerdo a datos mínimos y máximos de confort visual que nos brindan los estándares de iluminación natural interior, la calificación del usuario es sensitivo [58], por consiguiente, varía de acuerdo al tipo de usuario.</p>
<p>Todo lo relacionado a las Prestaciones visuales [20], porque su valoración es por la <b>capacidad de realizar tareas visuales</b> [44], lo que depende de la cantidad de iluminancia y luminancia existente en un ambiente interior [23].</p>	<p>Todo lo relacionado al Confort visual [21], porque su valoración es a través de la <b>percepción de bienestar, productividad y seguridad</b> [44].</p>
<p>La <b>Luminancia e Iluminancia</b> como <b>parámetros de medida</b> [23, 44]: Interviniendo como como factores para los programas de simulación y mediciones físicas para la generación de modelos paramétricos [62] que permitan realizar cálculos en tiempos reales sobre la Calidad de la Iluminación en un ambiente interior [63].</p>	<p>La <b>Luminancia e Iluminancia</b> como <b>elementos de distribución</b> en un área determinada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <u>La distribución de la Luminancia:</u> controla el nivel de adaptación de los ojos que afecta a la visibilidad de la tarea; causando molestias al usuario por los contrastes, deslumbramientos, y cambios bruscos de luminancia o creando confort como la uniformidad de iluminación de un espacio y la iluminación direccional para trabajos visuales específicos [44].</li> <li>✓ <u>La distribución de la Iluminancia:</u> en el área de la tarea y en sus zonas circundantes, tiene un impacto en como la persona percibe y realiza la tarea visual</li> </ul>

	de un modo rápido seguro y confortable [44].
<p>La <b>aparición del Color</b>, referido al color aparente o cromático de luz emitida [44].</p> <p>La elección depende de nivel de iluminancia, de los colores del ambiente, así como de los muebles y del clima circundante.</p> <p>Existen una gama innumerable de colores, de los cuales se considera algunos como “colores de seguridad”, los cuales están descritos en la Norma ISO 3864 [64].</p>	<p>El <b>rendimiento del Color</b>, referido a las prestaciones visuales y la sensación de confort y bienestar, que los colores del entorno, de objetos y la piel humana sean producidos de forma natural [44], de tal forma que a las personas les parezca saludables y atractivas.</p> <p>Los colores pueden producir muchos efectos distintos en la psicología de la persona [65], es por ello que es necesario que es un ambiente existan diferencias de color, iluminación, luz, sombra y profundidad para poder percibir cualquier objeto [28].</p>

Tabla 2: **Diferencias entre Cantidad y Calidad de Luz** en ambientes interiores a partir de la satisfacción de las necesidades básicas del hombre.

## 2.5.2. Cálculo de la Cantidad y Calidad de Luz

### ▪ Cálculo de la Cantidad de Luz

Las investigaciones iniciales enfocan a la cantidad lumínica con las normas internacionales, teniendo como indicador básico aproximado el “lux”, y cuyos valores cambian de acuerdo a cada país [60]; siendo estos valores aún relativos, se necesita métodos cuantitativos más sofisticados (herramientas informáticas de cálculo óptico) de tal forma que permitan identificar valores mínimos y máximos de calidad lumínica [59]. En la tabla N° 02 se enumera los factores de medición a tomarse en cuenta para la cuantificación lumínica de un ambiente interior según los estudios de J. Fernandes, C.N.D. Amorim y J.A.B. Sousa [58], los cuales han sido extraídos de los Estándares Europeos como: EN 12464 -1\_2002 “Lighting of interior workplaces” [44], la CIE S 008 - ISO standard 8995-1 [61].

En

En la Tabla N°3 se presenta los Elementos de Medición para el cálculo de la Cantidad Lumínica que hace Fernandes [58]:

Nº	Elementos de medición para el cálculo de la Cantidad de luz
1	Enfoque de la luz natural
2	Uniformidad lumínica asignado a las tareas y actividades
3	Definición del plano de profundidad (ambientes o espacios profundos)
4	Modulo o cuadrilla métrica
5	Niveles de deslumbramiento CIE S 008 - ISO standard 8995-1
6	Iluminación cenital (vertical) y lateral (horizontal)
7	Modelado del proyecto (herramientas informáticas de cálculo de la geometría óptica y de visualización)
8	Cálculos de la energía solar (radiación solar)
9	Cálculos de horas de sol o insolación y su variabilidad (luz directa y difusa)

Tabla 3: **Elementos de Medición para el cálculo de la Cantidad Lumínica**, en ambientes interiores. Las unidades han sido extraídas de los estándares europeos mencionados líneas arriba. Fuente: [58]

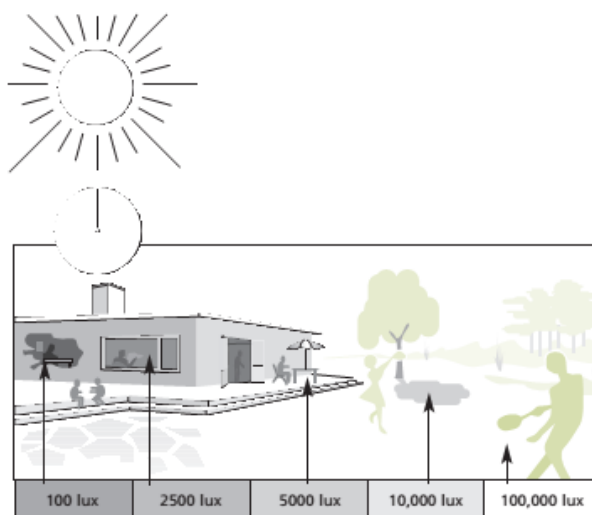
El ojo humano está diseñado para percibir un enorme rango de variación lumínica, puede percibir desde 0.1 lux a la luz de la luna llena, hasta 100,000 luxes en un día muy claro con luz solar brillante [19], la pupila se ajusta automáticamente a los cambios de luz, sin embargo, el cambio brusco en los niveles de iluminación puede provocar molestias. Los niveles óptimos de iluminación que se establecen como normativos son muy variados dependiendo de la fuente que se consulte y también varía según el país o estado [59]. En la tabla N°4, se muestra los niveles de luminancia que menciona Javier Neila [19] para España, realizando una medición específica de luminancia según al uso del espacio o ambiente interior.

USOS	NIVEL MINIMO (lux)	NIVEL RECOMENDADO (lux)
Pasillos	70	100
Escaleras	100	150
Aseos (general)	70	100

Aseos (puntual)	200	500
Dormitorios (general)	50	70
Dormitorios (cabecera)	200	500
Cocinas	100	200
Estancias (general)	70	200
Estancias (puntos de lectura)	300	500
Zonas de trabajo	750	900

*Tabla 4: Niveles de Iluminancia requerida según los usos, los cuales considera espacios cuya función constituye de la una vivienda. Fuente: [19]*

Así, en la Figura N° 23, se muestra la diferencia de *lux*, en relación a los espacios interiores, exteriores e intermedios bajo cielo claro y las actividades realizadas en estos.



*Figura 23: Iluminancias típicas en diferentes superficies bajo el cielo despejado en climas templados. Fuente: [79]*

#### ▪ **Calculo de la Calidad de luz**

La Calidad está relacionado con la cualidad cromática de la luz, es decir el tipo de energía que se está recibiendo [19]. La sensibilidad del ojo humano varía con la longitud de onda, presentándose la máxima sensibilidad alrededor de los 550nm (color verde) y máxima emisión de los 500nm (color azul) [47]. P. Dehoff investigó un enfoque y un método para la evaluación general para encontrar el equilibrio adecuado entre la energía de la eficiencia y la Calidad de la luz, llamado indicador ELI (Iluminación

Ergonómica) [60], el cual relaciona los aspectos de la calidad de iluminación con las normas utilizando un cuestionario con cinco criterios. En la tabla N°5 se enumera los criterios del cuestionario ELI, cuyos resultados son subjetivos [58]; los cuales también han sido extraídos de los Estándares Europeos como: EN 12464 -1\_2002 “Lighting of interior workplaces” [44].

Nº	Criterios de medición de la Calidad de la Luz	Parámetros
1	Rendimiento visual	Iluminancia y uniformidad, reproducción cromática, reflexión y sombras limitadas, definición del contraste.
2	Vistas	Concepción arquitectónica, expectativas de los usuarios, la orientación, la percepción jerárquica del espacio, la percepción del exterior, de los materiales y su entorno cercano.
3	Confort visual	Control del deslumbramiento, la distribución de luminancia, modelado, iluminación natural, sensación de protección, cintilación limitada.
4	Vitalidad	Estado de bienestar, activación, ritmo circadiano, iluminación natural, limitación de peligros.
5	Empoderamiento	Control individual de la iluminación de un espacio en específico, detector de presencia, iluminación natural de control dinámico, control dinámico, flexibilidad, privacidad.

*Tabla 5: Criterios de medición de la Calidad de la luz*, los cuales relacionan los aspectos de la calidad de iluminación con las normas utilizando un cuestionario de acuerdo al indicador ELI de P. Dehoff. *Fuente:* [58]

### 3. OBJETIVOS Y ALCANCES

#### 3.1. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es tratar por primera vez la temática de los SINAI desde un enfoque muy global y general. Se trataría de un punto de partida para posteriores estudios más precisos y concretos desde abordajes más específicos. Es por ello que en este trabajo se ha procurado abarcar al máximo la descripción de los diferentes sistemas actuales.

Así mismo, este trabajo se centra en lograr la clasificación de los SINAI aplicado a la Rehabilitación Energética, de forma tal que estos sistemas puedan integrarse adecuadamente al edificio residencial existente. Con el fin de lograr que éste tenga un comportamiento energéticamente eficiente, tomando como principios el confort ambiental del usuario y el ahorro energético, que se trasunta en buen rendimiento visual al interior del ambiente.

#### 3.2. Alcances

Se ha propuesto como alcance del presente proyecto, la integración de los SINAI en los edificios de carácter plurifamiliar de cuatro, cinco y seis niveles (según la clasificación que realiza EPISCOPE sobre la tipología edificatoria residencial: ámbito España [74]).

Esta clasificación contempla aquellos edificios Plurifamiliares anteriores al año 1900 hasta los construidos en el 2006 (Ítem 6), de los cuales el estado exige la rehabilitación de un edificio con el IEE (Informe de Evaluación del Edificio) a aquellos con más de 15 años de antigüedad, y aquellos edificios cuyo IEE hayan pasado los 10 años [80]. También porque existe un gran porcentaje de edificaciones residenciales en España no rehabilitadas (Ítem 2.1), por lo que el estado plantea las estrategias a largo plazo para la Rehabilitación Energética de los edificios [11], aportando así a los objetivos del H2020 sobre reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y el ahorro energético.

## 4. METODOLOGÍA

Después de haber concluido el Estado del Arte con respecto a los SINAI y definido los objetivos y alcances del proyecto, a continuación, se detalla la metodología a seguir para el proceso de la Integración de los SINAI a los edificios Plurifamiliares existentes, de acuerdo a su tipología y como parte de las acciones de Rehabilitación Energética.

El proceso metodológico se divide en tres partes, como se observa en la Figura N° 24.

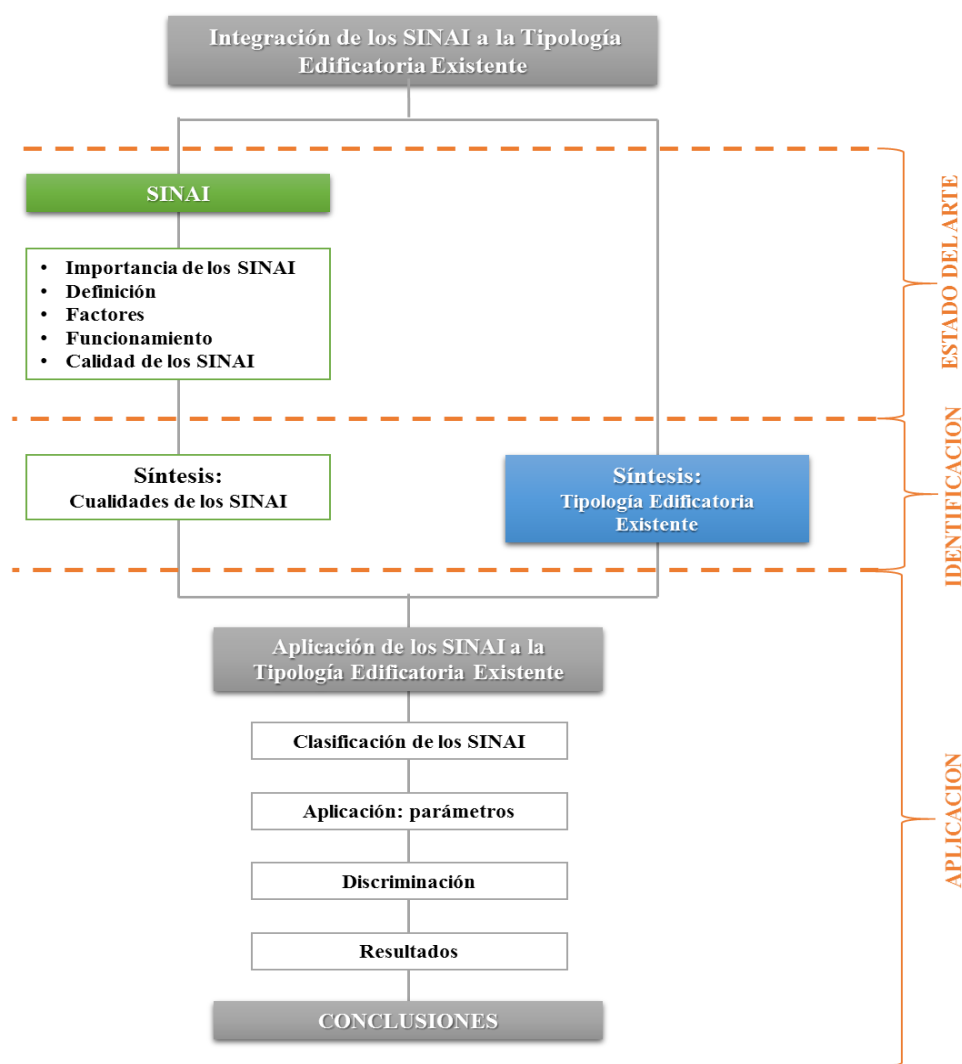


Figura 24: Esquema del proceso metodológico para la Integración de los SINAI a los edificios Plurifamiliares existentes.

- ✓ La primera etapa constituye la elaboración del Estado del Arte relacionado a los SINAI, tomando aspectos como su importancia, los factores que determinan su comportamiento, el funcionamiento de los mismos y las nociones de Calidad de los SINAI. Todo ello con el objetivo de lograr información relevante para la identificación de las cualidades de un sistema de iluminación natural en específico.
- ✓ La segunda etapa consiste en la Identificación de los SINAI, realizando un acopio de información a partir de referencias y estudios encontrados, para lo cual se hace una revisión de las clasificaciones anteriormente elaboradas, los múltiples sistemas encontrados y la temática de cada clasificación. Así como la identificación de la Tipología Edificatoria existente y aquellos parámetros que contribuyen a la caracterización de la Clasificación de los SINAI.
- ✓ El proceso de identificación finaliza con la elaboración de Tablas Síntesis sobre estos dos aspectos, los cuales contienen aquellas características y parámetros que serán incluidos en la siguiente etapa.
- ✓ La tercera y última etapa corresponde a la parte medular del proyecto, que es lograr Integrar a los SINAI en las Edificaciones Existentes, por lo que esta etapa está dirigida a su Aplicación. El primer paso es clasificar los SINAI a partir de las características arquitectónicas de estas edificaciones, formando tres clases importantes que comparten cualidades específicas de acuerdo a cada grupo.
- ✓ El segundo paso se da a través de la información de las tablas Síntesis elaborados sobre los SINAI y la tipología edificatoria existente; con la intención de diseñar una tercera Tabla que junta las características y parámetros de ambos elementos, con los cuales se produce un cruce de información de acuerdo a cada sistema de iluminación natural descrito en la clasificación de los SINAI y que al puntuarse cada uno de ellos en su grupo respectivo, se logra dos resultados:

La discriminación funcional de **los SINAI que mejor se adaptan** de acuerdo a su grupo clasificatorio; en relación a los Segmentos identificándose de las características y parámetros de los SINAI y la Tipología Edificatoria Existente.

La comparación de los sistemas para la identificación de **aquellos SINAI que mejor se Integran a las características arquitectónicas** de los edificios existentes.

Logrando una interpretación a partir de los resultados obtenidos, los cuales se reflejan en las conclusiones y las líneas de investigación actuales.



## 5. TIPOLOGÍA EDIFICATORIA EXISTENTE

### 5.1. Normativa edificatoria y medio ambiental

#### ▪ Normativa y reglamentos de Rehabilitación Energética

- ✓ *Eficiencia Energética: alcanzar el objetivo del 20%*. COMISION DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Bruselas, 13.11.2008 COM (2008) [1]
- ✓ *Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes (Programa PAREER-CRECE)*. IDAE. Ministerio de Industria, energía y turismo. Año 2015. [8]
- ✓ *Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el sector de la Edificación en España, en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE*. MINISTERIO DE FOMENTO. [10]
- ✓ *Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*. MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA «BOE» núm. 89, de 13 de abril de 2013 [12]
- ✓ Orden FOM/1635/2013, del 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. España [55].
- ✓ Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020. España [56].
- ✓ ANEXO I. Ordenanzas Municipales de Edificación. Disposición Final Segunda de la Ley 2-2006 del 30 de junio, de Suelo y Urbanismo. GOBIERNO VASCO [71].
- ✓ BOE. Código de Urbanismo del País Vasco. Edición actualizada a 23 de mayo del 2016 [edición electrónica]. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2016 [72].
- ✓ CTE. *Código Técnico de la Edificación*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC. [76]
- ✓ España. Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. *Boletín Oficial del Estado* [80].

#### ▪ Normativa y estándares Ambientales

- ✓ 12665 E (2002) Light and lighting: Basic terms and criteria for specifying lighting requirements. European Committee for Standardization, Brussels [16].
- ✓ ASHRAE (2009) ASHRAE Handbook: Fundamentals. Refrigerating American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers, Seattle [17].

- ✓ CIBSE (2002) Code for Lighting. The Society of Light and Lighting, Rich Hill. [20].
- ✓ AENOR. Iluminación de los lugares de trabajo, Parte 1: lugares de trabajo en interiores. UNE-EN 12464-1. 1ª edición. Madrid: AENOR, 2003 [44]
- ✓ CIE. Standard General Sky Guide. CIE 215:2014. Vienna, AUSTRIA: CIE, 2014. [45].

## 5.2. Alcance, obstáculos y descripción de tipologías existentes

Después de realizar la clasificación de los SINAI de acuerdo al transporte de luz, se procede con la identificación de la Tipología Edificatoria Residencial, para lo cual se define el alcance de las tipologías o premisas base para la integración de los SINAI a las edificaciones existentes.

### ▪ **Importancia de la rehabilitación energética aplicado a la Tipología Edificatoria Residencial**

Las mejoras de eficiencia energética en el sector vivienda se ha convertido en un objetivo prioritario para la Unión Europea [68, 66]. El sector edificación es la primera rama de la actividad de la construcción en Europa, y la Rehabilitación Energética es la mayor actividad en cuanto a volumen de producción, manteniéndose e incluso incrementándose incluso durante la crisis [54]. En términos monetarios, es la principal actividad económica para los siguientes años en España [77], siendo uno de los países europeos con mayor parque edificatorio, pero con la menor intervención de Rehabilitaciones Energéticas en sus edificios [54]. Teniendo el siguiente diagnostico en España:

- ✓ Existe un predominio de viviendas plurifamiliares. Las viviendas en edificios de tipología plurifamiliar suponen el 68,6% (17,2 millones) del total de las viviendas, frente al 31,4% de las unifamiliares [54, A52].
- ✓ Localización predominante urbana. El 47,6% de las viviendas españolas está ubicada en municipios mayores de 50,000 habitantes; el 68,8% es vivienda colectiva [54].
- ✓ Baja eficiencia energética. Casi el 60% se construyó sin tener en cuenta ninguna normativa mínima de eficiencia energética (antes de 1980) [77].

Por otra parte, uno de los problemas más comunes en la evaluación de la construcción y su rehabilitación energética, es que solo se considera la Eficiencia Energética en cuanto al ahorro de energía y reducciones del CO<sub>2</sub>; sin embargo, las **condiciones del usuario** como el costo de la rehabilitación, el ahorro en las facturas de consumo eléctrico o el confort dentro del edificio, no se toma en cuenta [34]. E.J. Gago [7] hace hincapié en este problema, considerando que mediante el uso y buen diseño de Sistemas de

Iluminación Natural que garanticen la accesibilidad a todas las áreas internas del edificio, se puede reducir el consumo de energía eléctrica y el consumo de aire acondicionado se puede mantener al mínimo [7], lo cual también brinda una **completa** sensación de confort dentro del edificio [7, 68]. Así como, en el estudio de investigación sobre “*Estimación del ahorro de energía de iluminación de luz natural*” validan las predicciones sobre la **potencialidad de la iluminación natural en ambientes interiores para ahorrar el consumo de energía asociado a la iluminación eléctrica**, obteniendo como resultado un ahorro del 60% del consumo eléctrico anual para una oficina [5] (estudio realizado en Estados Unidos). Como parte de ello, Marco Ferreira y Manuela Almeida incluyen dentro de su investigación sobre la Renovación de Edificios relacionados con la energía y los costos que esta demanda, a los sistemas de iluminación natural como elemento que actúa para el bienestar del usuario [34]; y, como se observa en la Figura N° 25, la prestación de iluminación natural interior está incluido dentro de los tres aspectos que los investigadores declaran importantes para el adecuado comportamiento energético de un edificio en relación con los costos de demanda.

Category	Co-benefit	Description
<b>Building quality</b>	Building physics	Less condensation, humidity and mould problems
	Ease of use and control by user	Ease of use and control of the renovated building by the users (automatic thermostat controls, easier filter changes, faster hot water delivery, etc.)
	Aesthetics and architectural integration	Aesthetic improvement of the renovated building (often depending on the building identity) as one of the main reasons for building renovation
	Useful building areas	Increase of the useful area (taking advantage of the balconies by glazing or enlarging the existing ones) or decrease of useful area (like the case of applying interior insulation or new BITS)
	Safety (intrusion and accidents)	Replacement of building elements with new elements at the latest standards, providing fewer risks such as accidents, fire or intrusion.
<b>Economic</b>	Reduced exposure to energy price fluctuations	Reduced exposure to energy price fluctuations gives the user a feeling of control and increased certainty to be able to keep the needed level of comfort.
	Thermal comfort	Higher thermal comfort due to better room temperatures, higher radiant temperature, lesser temperature differences, air drafts and air humidity.
<b>User wellbeing</b>	Natural lighting and contact with the outside	More day lighting, involving visual contact with the outside living environment (improved mood, morale, lower fatigue, reduced eyestrain).
	Indoor Air quality	Better indoor air quality (less gases, particulates, microbial contaminants that can induce adverse health conditions) better health and higher comfort
	Internal and external noise	Higher noise insulation but increased risk of higher annoyance due to internal noise after the reduction of external noise level
	Pride, prestige, reputation	Enhanced pride and prestige, an improved sense of environmental responsibility or enhanced peace of mind due to energy related measures
	Ease of installation and reduced annoyance	Ease of installation can be used as a parameter to find the package of measures that aggregates the maximum of benefits

Figura 25: Tipología de las medidas de renovación energética rentables para edificios *privados*, donde se la iluminación natural está contemplada dentro del grupo de acciones que brindan bienestar al usuario.

Fuente: [34]

Y finalmente, si hablamos de los costos de inversión para la Rehabilitación Energética [66], y que es asumido por el usuario o dueño del edificio, se convierte en uno de los mayores inconvenientes; situación por la cual el estado español promueve estrategias de Rehabilitación Energética a largo plazo

[10], ayuda dineraria sin contraprestación complementada con préstamos reembolsables [8] y otros de acuerdo a cada ayuntamiento y país autónomo.

▪ **Obstáculos encontrados en relación a la rehabilitación energética y las tipologías edificatorias de viviendas**

Se ha observado que en la mayoría de las intervenciones de energéticas en edificios de vivienda no se toma en consideración la Instalación de Sistemas de Iluminación Natural, pese a que está incluido como parte de las acciones a realizarse para de la Rehabilitación Energética de Edificios [8]. Esta situación se evidencia en la información obtenida sobre la “*Caracterización de Intervenciones por clústeres en viviendas*”, del Ministerio de Fomento, donde se muestra las intervenciones de rehabilitación realizadas (Figura N°26), en las cuales no intervienen la Iluminación Natural como parte de las acciones de rehabilitación; lo mismo sucede en programas importantes como los “*Planteamientos y mejoras en la Rehabilitación Energética por Tipología Edificatoria de Viviendas*” del IVE [73] y el programa EPISCOPE [74] (Figura N°27):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<b>FACHADA</b>										
Aislamiento con doblado interior										
Aislamiento con doblado exterior										
Relleno de cámara										
Relleno de cámara con borra										
Ventana de alta estanquidad										
<b>CUBIERTA</b>										
Aislamiento cámara de cubierta										
Aislamiento bajo tejas y reposición										
Aislamiento y capa protección cubierta										
<b>CONTACTO CON EL TERRENO</b>										
Aislamiento por recrecido										
Aislamiento relleno cámara										
Relleno cámara o aislamiento locales										
<b>VENTILACIÓN</b>										
Sistema de ventilación con regulador CO2.										
<b>CAMBIOS SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN O COMBUSTIBLE</b>										
GN a Caldera eficiente GN										
Gasoil a Caldera eficiente GN (urbano)							C	C	C	C
Gasoil a Caldera Biomasa (rural)							C	C	C	C
Placa eléctrica a Calefacción GN (urbano)							C	C	C	C
Placa eléctrica a Caldera Biomasa (rural)							C	C	C	C
Bombona GLP a Calefacción GN (urbano)							C	C	C	C
Bombona GLP a Caldera Biomasa (rural)										
<b>ACS</b>										
Instalación Solar cubriendo el 50% de la demanda										

Nota: C: Cambio de caldera individual a colectiva.  
Fuente: Elaboración de GTR para Ministerio de Fomento.

Figura 26: Caracterización de los menús de intervención sobre Rehabilitación para un clúster tipológico, **Viviendas**. Identificación de las medidas más rentables, incluyendo la cuantificación de costes, ahorros de energía y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>; como se observa, no toma en cuenta las instalaciones de sistemas de luz natural. Fuente: [54]

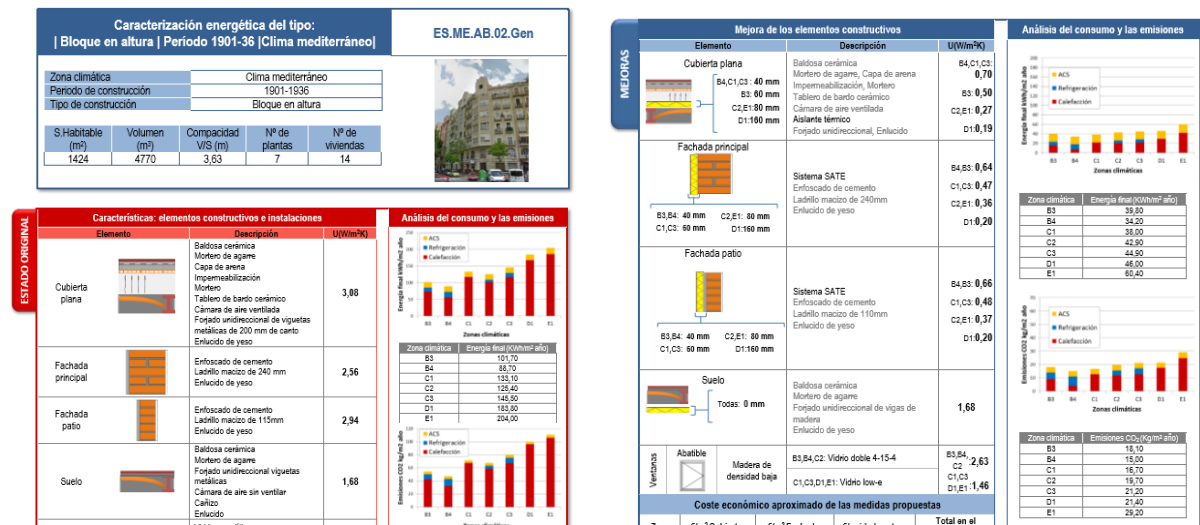


Figura 27: Catálogo de tipología edificatoria residencial para España, para Bloque en Altura/ periodo 1901-36/clima mediterráneo (ES.ME.AB.02. Gen). Izquierda: se muestra sus características generales como número de plantas, superficie habitable, la descripción del Estado Actual (características: elementos constructivos e instalaciones como calefacción y ACS) y Derecha: las Mejoras (mejora de los elementos constructivos) y el Ahorro Energético final; sin embargo, no contemplan como propuesta de mejora Sistemas de Iluminación Natural. Fuente: [73]

Así mismo, en los pocos estudios científicos encontrados sobre la Rehabilitación Energética, se toma en cuenta solo los sistemas de climatización y la envolvente del edificio, mas no los sistemas de iluminación natural. Un ejemplo podría ser la investigación realizada sobre las “Estrategias para la integración de costo eficiente y energía solar en la rehabilitación de edificios” [67] caso HERB<sup>1</sup> del año 2015, donde los autores analizan sobre las estrategias económicamente optimas de ahorro de energía en la rehabilitación de edificios y la producción de energía renovable [67], considerando aspectos como demanda de energía de calefacción y enfriamiento sin tomar en cuenta los múltiples sistemas de iluminación natural que, además de brindar iluminación también ofrecen, a través de sus propiedades físicas, formas de calefactar un ambiente y reducir el uso de sistemas de enfriamiento [7].

Otro obstáculo encontrado es el **costo económico** que involucra rehabilitar energéticamente un edificio de viviendas existente, de hecho, la mayoría de los estudios relazados refieren a ello como se ha visto en líneas anteriores y dentro del estudio del proyecto. Se debe tomar en cuenta la relación existente entre los niveles de calidad del comportamiento eficiente de un edificio y los niveles adecuados (no

<sup>1</sup> Proyecto “Holistic energy-efficient retrofitting of residential buildings” (HERB) dentro del séptimo programa marco de la Unión Europea, sobre la forma más adecuada de ahorro de energía y suministro de energías renovables integrada en edificios en 7 países europeos.

necesariamente los deseados) que el propietario puede aportar económicamente [66]; y esta condición del propietario en consecuencia de tres causas: mala eficiencia energética de viviendas antiguas, altos precios de la energía e ingresos familiares bajos para el caso de España [67].

Y finalmente, el obstáculo encontrado referente a los SINAI es la **capacidad de integración y adecuación de estos sistemas en edificios ya existentes** [53], hecho que se relaciona también con los aspectos económicos, puesto que se ha de suponer que se tendrán que realizar acciones de eliminación, restitución, etc. sobre la infraestructura sea estructural o arquitectónica del edificio. Adicionando a ello que no se puede tener un cálculo exacto sobre cuáles son los niveles de confort adecuados para el usuario, ya que el comportamiento de las personas es muy variable [67].

- **Parámetros que la edificación residencial que ayudan a distinguir la aplicación de un SINAI específico**

La Caracterización de los edificios de viviendas es el primer paso a tomar, seguido por el análisis del comportamiento térmico de éstos [67]. Por lo tanto, se debe aquellos aspectos que caracterizan a la Tipología Edificatoria de Viviendas y que se encuentran contenidas en los documentos de orden Urbanístico como establece el Código técnico de Edificación español [76], que regula y norma mediante parámetros las características arquitectónicas de los edificios residenciales y las normas o decretos que especifican estos parámetros por zonas o lugares; y de los cuales se extrae los siguientes aspectos; los cuales, para efectos del trabajo se consideran importantes:

- ✓ Parámetros de **volumen, forma**. En todas las zonas es necesario definir los parámetros de volumen y forma del edificio sobre la parcela mediante determinaciones de número de plantas edificables y la altura máxima reguladora [69]. Datos que, para efecto del trabajo permite calcular la profundidad de los espacios interiores (para la elección de la clase de SINAI).
- ✓ Parámetros de **altura** reguladora. Tomando en cuenta las consideraciones del Ítem 2.3.1. sobre condiciones climáticas de la zona que determinan la disponibilidad de luz exterior e interior, como son la existencia de obstrucciones [42], necesario para verificar la distancia que tiene que recorrer un SINAI vertical u horizontalmente para llegar a los ambientes oscuros. Así como los detalles en perfil o corte sobre salientes u entrantes a nivel de diseño del edificio (Figura N°28).
- ✓ Parámetros de **intensidad de uso y densidad**. Relacionado al mayor y menor número de habitantes por superficie en una parcela [69], lo cual ayuda a definir la necesidad de energía por edificio [68, 5, 36].

- ✓ Parámetros de **distribución interior y funcionalidad espacial** de la vivienda. Relacionado con la profundidad de los ambientes y si estos tienen ventanas [67] (lateral o cenital) en alguna de las fachadas, a un patio de luz o no tienen.
- ✓ Otros **parámetros de acuerdo a cada zona**. Cada gobierno y ayuntamiento tiene sus parámetros particulares de acuerdo a las características urbanísticas y necesidades de cada lugar, en el caso del Gobierno Vasco, se puede extraer algunos parámetros importantes en relación a los patios cerrados y a las condiciones de habitabilidad de las viviendas en edificios existentes [71] descritos en el Anejo I. Ordenanzas Municipales de Edificación, como también en el Código de urbanismo del País Vasco [72].

También se ha tomado en cuenta los **Patios Cerrados** en su perímetro, las dimensiones de estos están definidos por el diámetro inscrito (Figura N°28) en función del suelo de los locales que resuelvan su ventilación e iluminación a través del patio y de la altura de la edificación; y, para el caso de Viviendas en Edificios Existentes, explica sobre las condiciones mínimas habitables para que una edificación antigua pueda ser catalogada como residencia.

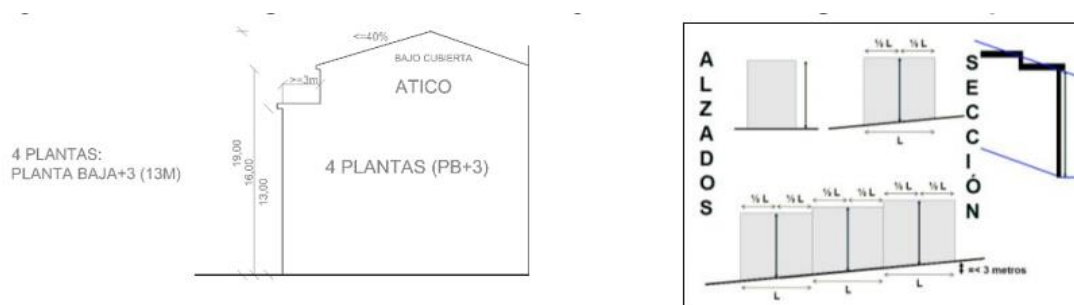


Figura 28: **Izquierda: Altura reguladora de un edificio**, y los detalles de diseño arquitectónico en perfil que fuerzan a la búsqueda de SINAI, apropiados para el transporte de luz a todas las plantas. **Derecha: Relación volumétrica con otros edificios**, que pueden actuar como objetos de obstrucción de luz durante el día.

Fuente: [69]

Uso del local o tipo de vivienda	Diámetro del círculo inscrito en el patio
Viviendas unifamiliares con patio independiente	$\varnothing \geq 3 \text{ m.}$
<b>Viviendas en altura o con patio compartido:</b>	<b>Siendo H la altura del patio:</b>
- Sala comedor, estar	$\varnothing \geq H \geq 3 \text{ m.}$
- Dormitorio y cocina	$\varnothing \geq 1/3 H \geq 3 \text{ m.}$
- Aseos y tendedero	$\varnothing \geq 3/20 H \geq 3 \text{ m.}$
Escaleras	$\varnothing \geq 3/20 H \geq 2 \text{ m.}$

Figura 29: Cuadro dimensiones de patios cerrados en su perímetro. Fuente: [71]

### ▪ Descripción de Tipologías Edificatorias Residenciales existentes

Existe un estudio sobre la “*Tipología edificatoria residencial. Ámbito España*” [73] que el Instituto Valenciano de la Edificación a desarrollado el año 2014, enmarcado en el proyecto europeo EPISCOPE<sup>2</sup> [74] y las clasificaciones realizadas por TABULA<sup>3</sup> [75]. Esta clasificación contiene datos sobre la situación real del edificio y las medidas de mejora de la envolvente térmica, así como su valoración económica [73]; sin embargo, dicha tipología es en relación a su envolvente o fachada, no conteniendo planos o información gráfica que nos indique la distribución interior, presencia de patios de luz, pasillos comunes, ductos, etc.

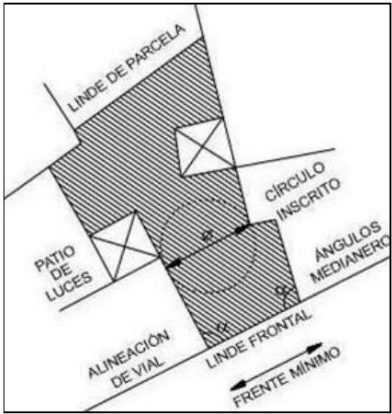
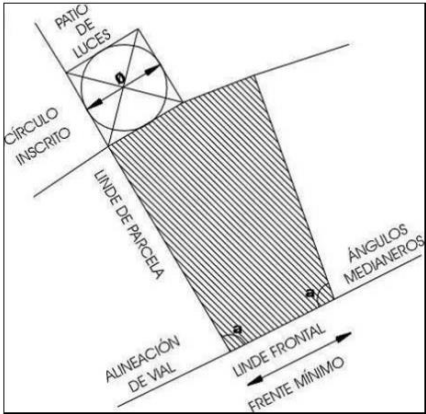
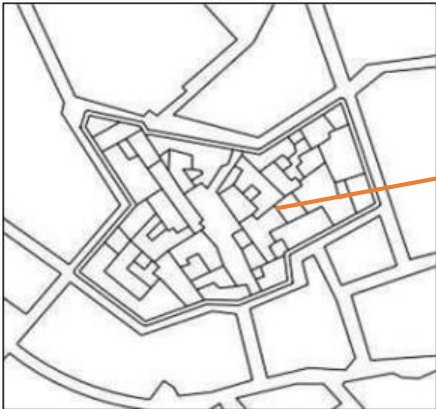

Se ha realizado la búsqueda sobre las tipologías existentes de edificios residenciales, sin embargo, la información es escasa; la identificación más cercana en relación a la búsqueda tipológica es la que realiza el M<sup>a</sup> Jesús Romero [69], quien **identifica siete tipologías generales en España a partir del estudio del RZU (Reglamento de Zonas de Ordenación Urbanística de la Comunidad Valenciana) [70]**. Donde considera a la **Tipología Urbanística** como uno de los elementos importantes de la zonificación urbanística, definiéndolo como: “*Un elemento empírico de la ciudad, en la que los edificios tienen determinadas características que resultan de su diferente uso, de los procesos constructivos del momento y de los factores culturales de la población*”, y estas tipologías son: la manzana compacta, la manzana cerrada, bloque exento, bloque adosado, volumen específico y el volumen contenedor. La tipología presentada por el autor, es gráfica y con descripciones concisas, lo que hace fácil identificar cuáles son las **opciones de integración un determinado SINAI de acuerdo a las características de cada tipología. En la Tabla N°6 se presenta sus principales tipologías que identifica M<sup>a</sup> Jesús Romero [69]**.

---

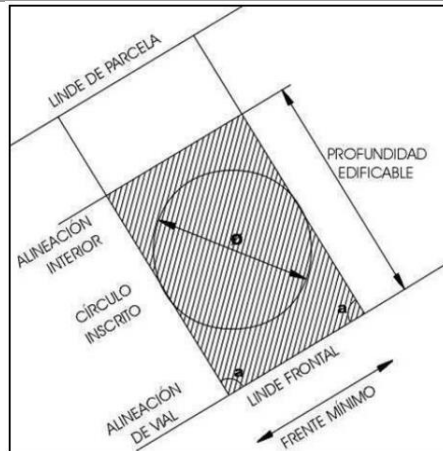
2 Parte del programa Energía Inteligente Europa en el que el IVE participa como socio con el objetivo de ampliar su línea de investigación en materia de eficiencia energética en la rehabilitación de edificios. La iniciativa tiene como objetivo hacer que los procesos de rehabilitación energética en el sector de la vivienda en Europa sean más transparentes y eficaces.

3 Predecesor de EPISCOPE. Cada país participante en TABULA y/o EPISCOPE ha publicado las clasificaciones tipológicas de su país mediante un "Catálogo de tipología edificatoria residencial" que contiene la matriz de tipos de edificio del país y una ficha de cada tipo donde se explican las características energéticas del mismo y se ilustran las medidas a adoptar de una forma gráfica



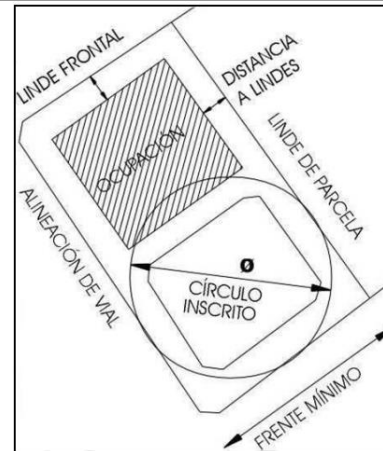
N	Tipología	Gráfico	Descripción
A	<b>Manzana Completa</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="450 272 840 687">  <p><b>A.1. Parcela de zona de núcleo histórico.</b> Fuente: [70]</p> </div> <div data-bbox="893 272 1317 687">  <p><b>A.2. Parcela de zona de ampliación de casco.</b> Fuente: [70]</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="450 767 884 1177">  <p><b>Tipología urbana de núcleo histórico</b> Fuente: [70]</p> </div> <div data-bbox="960 767 1171 1002">  <p>Zona de núcleo histórico, con viviendas de formas, predomina la superficie ocupada de las áreas libres.</p> </div> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tipología propia de los cascos históricos y de sus ampliaciones.</li> <li>✓ Predomina las superficies ocupada por las construcciones respecto a los espacios libres interiores, que se distribuyen de modo disperso y aleatorio.</li> <li>✓ Parcela de frente estrecho y con pocas plantas de altura, y con utilización de patio de luces normalmente.</li> <li>✓ Tienen formas rectangulares, trapezoidales o triangulares.</li> <li>✓ Con alineación a la calle.</li> </ul>

**B** **Manzana Cerrada**



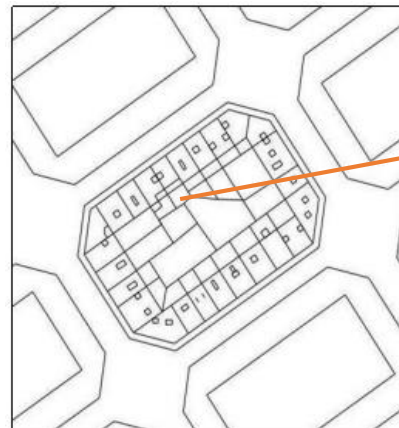
**B.1. Parcela en zona de ensanche tipología manzana cerrada.**

Fuente: [70]



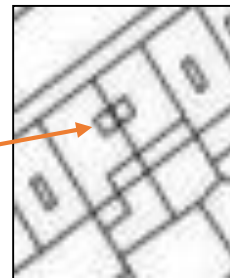
**B.2. Parcela de zona de edificación, tipología de manzana cerrada.**

Fuente: [70]



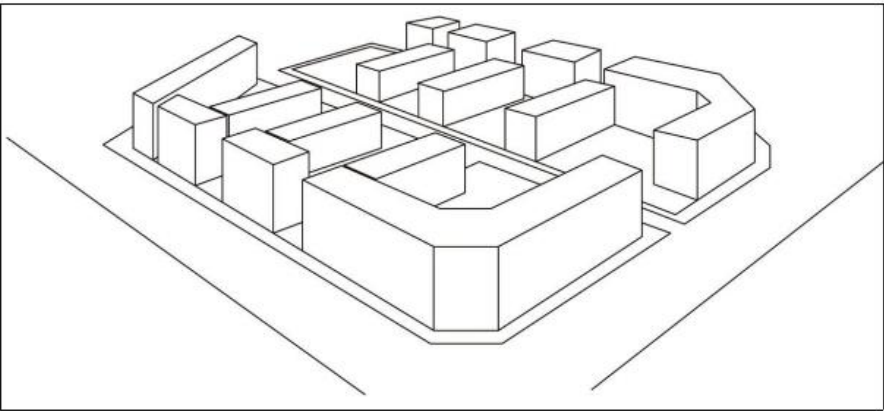
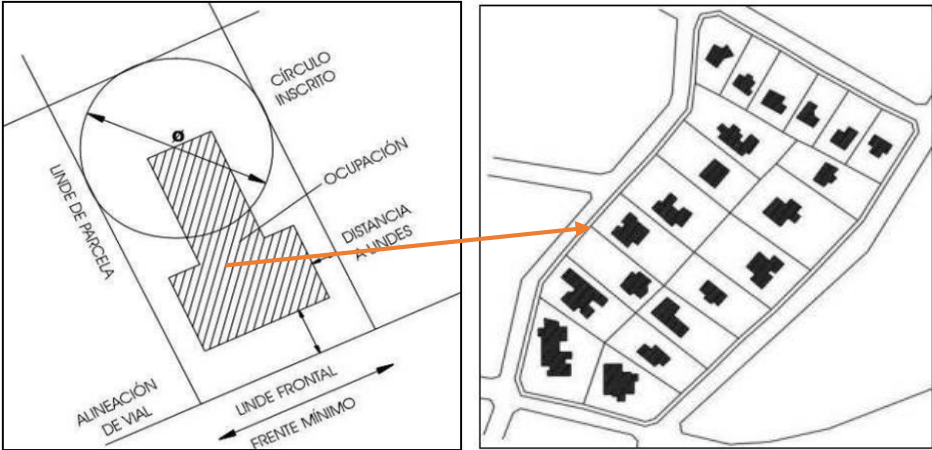
**Tipología urbana de ensanche**

Fuente: [70]

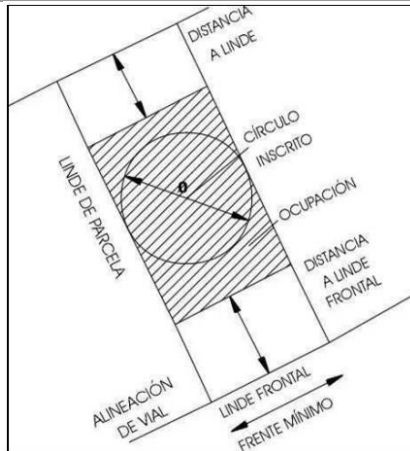


Zona de ensanche, con patios interiores productos de la unión de bloques de viviendas.

- ✓ La regularidad de las calles determina la regularidad y forma de los edificios.
- ✓ Tiene más plantas que en los cascos históricos.
- ✓ Los edificios se disponen en cuatro franjas edificables, paralelas a las alineaciones y con un patio interior.
- ✓ Manzana en la que las alineaciones de los edificios configuran un espacio libre central que puede estar ocupado en la planta baja (al interior de la manzana).

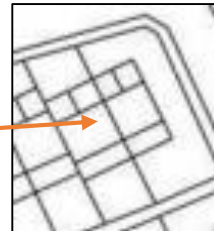
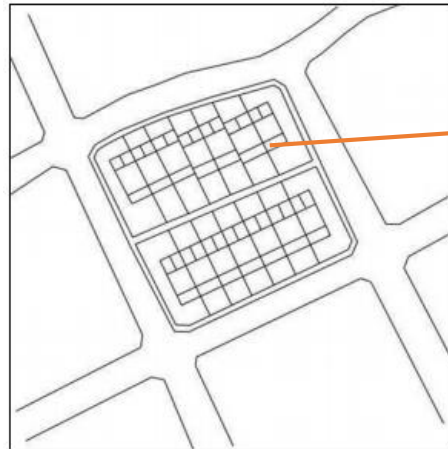
<p><b>C</b> <b>Manzana Abierta</b></p>	 <p><b>C.1. Manzana abierta</b> Fuente: [69]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alineadas en todo o parte a la vial.</li> <li>✓ Las lineaciones interiores se disponen de manera que configure un espacio libre interior, central y homogéneo.</li> <li>✓ De carácter comunitario para cada parcela o manzana.</li> <li>✓ Se ocupa excepcionalmente en planta baja.</li> </ul>
<p><b>D</b> <b>Bloque exento</b></p>	 <p><b>D.1. Bloque exento</b> Fuente: [70]</p> <p><b>Tipología urbana edificación aislada.</b> Fuente: [70]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La edificación se separa de todos los lindes de la parcela. Por lo tanto, no ocupa toda la parcela y deja espacios libres en ella.</li> <li>✓ Corresponde a las áreas de expansión de las ciudades.</li> <li>✓ Falta definir los espacios libres.</li> <li>✓ Ubicado en áreas de expansión de las ciudades en la que los espacios libres ajardinados dan calidad a la imagen urbana.</li> </ul>

**E Bloque adosado**



**E.1. Bloque adosado.**

Fuente: [70]



Tipología vivienda aislada, adosada al menos uno de los linderos.

**Tipología urbana de edificación aislada.**

Fuente: [70]

- ✓ Cuando la edificación se adosa al menos por uno de los linderos de la parcela para formar agrupaciones de edificios con las parcelas contiguas.
- ✓ Falta definir los espacios libres.
- ✓ Tipología de edificación aislada.

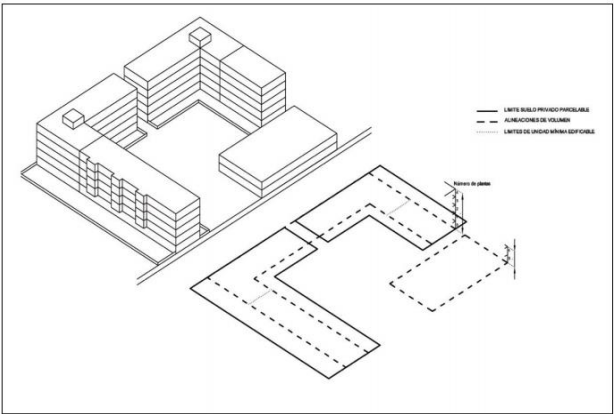
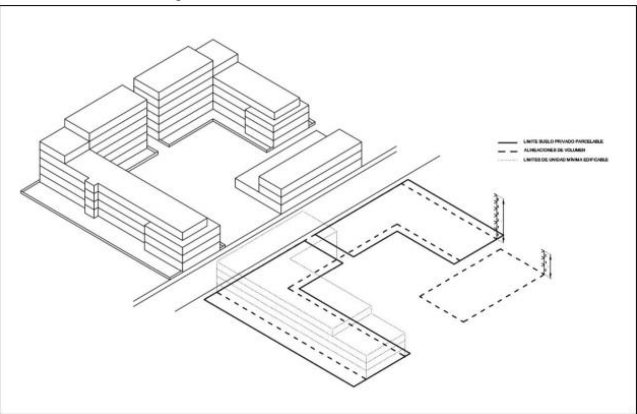
<p><b>F</b></p> <p><b>Volumen Específico</b></p> <p><b>o</b></p>	 <p><b>F.1. Volumen Específico</b>  <i>Fuente: Esteban i Noriega (1980)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Las edificaciones se ciñen a un volumen concreto determinado.</li> <li>✓ A diferencia de las anteriores, aquí la envolvente del edificio viene definida gráficamente (es decir, aquellas edificaciones que se regulan por una morfología y disposición singular, bien en el planeamiento o a través de estudios de detalle).</li> </ul>
<p><b>G</b></p> <p><b>Volumen Contenedor</b></p> <p><b>or</b></p>	 <p><b>G.1. Volumen Contenedor</b>  <i>Fuente: Esteban i Noriega (1980)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La diferencia con el anterior es que en esta tipología se define la envolvente virtual en cuyo interior se concreta la edificación, en consecuencia, permite una cierta interpretación siempre y cuando no se rebasen los límites previstos gráficamente.</li> </ul>

Tabla 6: Tabla de tipologías de edificatoria de uso residencial.

Por otra parte, la clasificación de M<sup>a</sup> Jesús Romero [69] no indica las alturas ni los niveles de planta. Sin embargo; la Tipología edificatoria residencial. *Ámbito España* [73] ha sido realizado en base a los datos del proyecto europeo EPISCOPE [74], por lo que, para la identificación del nivel de plantas máximas y la tipología exacta edificatoria, se ha extraído información de las fichas de “*Caracterización energética de los edificios residenciales. Ámbito España*” [73] (ver Anexo D), logrando el alcance y la caracterización del proyecto para:

**tipología residencial de Edificio Plurifamiliar de 4 a 6 plantas**

Porque, para efectos del proyecto, se encuentra dentro de las consideraciones de la Rehabilitación Energética [80] y porque es un grupo de edificios manejable a nivel de estudios y cálculos futuros. A continuación, en la Tabla N<sup>o</sup> 7 se presenta esta tipología diferenciada por antigüedad de construcción.

<b>Código</b>	<b>Tipo de construcción</b>	<b>Periodo de construcción</b>	<b>Nº de plantas</b>	<b>S. Habitable</b>	<b>Nº de viviendas</b>
ES.ME.MFH. 01.Gen	Edificio Plurifamiliar	Anterior a 1900	6	505,0 m <sup>2</sup>	9
ES.ME.MFH. 02.Gen	Edificio Plurifamiliar	de 1901 a 1936	5	728,0 m <sup>2</sup>	8
ES.ME.MFH. 03.Gen	Edificio Plurifamiliar	de 1937 a 1959	4	1900,8 m <sup>2</sup>	12
ES.ME.MFH. 04.Gen	Edificio Plurifamiliar	de 1960 a 1979	4	1089,7 m <sup>2</sup>	16
ES.ME.MFH. 05.Gen	Edificio Plurifamiliar	de 1980 a 2006	4	679,67 m <sup>2</sup>	9
ES.ME.MFH. 06.Gen	Edificio Plurifamiliar	Posterior al 2006	4	1290,0 m <sup>2</sup>	15

*Tabla 7: Características de la tipología residencial de Edificio Plurifamiliar, Fuente: [73, 74]*

## 6. IDENTIFICACION Y SINTESIS

### 6.1. Síntesis de las características de los SINAI

La clasificación de las tipológica de los SINAI se realizó tomando en cuenta las definiciones y estudios realizados en el Ítem 2 sobre el Estado del Arte. En la Tabla N° 8, 9 y 10 de presentan las consideraciones más importantes que se ha tomado para la elección de los SINAI en relación a la Rehabilitación de Edificios, el ahorro energético y la eficiencia energética.

ITEM		TITULO	DESCRIPCION
<b>I. Por su IMPORTANCIA:</b>	<b>Rehabilitación Energética</b>	Ahorro Energético	Propio de las acciones que debe cumplir la Rehabilitación Energética para los objetivos del H2020. El ahorro de energía trasunta en ahorro de energía eléctrica (luz artificial, sistemas de climatización y ACS, y ventilación); la eficiencia energética tiene que ver con el ahorro energético y el rendimiento visual de los SINAI. Por lo tanto, los elementos más importantes son: el ahorro energético y la eficiencia energética.
		Eficiencia Energética	
		Energías Renovables	
		Reducción emisiones CO2	
	<b>Confort Ambiental y</b>	Confort Visual	La calidad y cantidad de luz ofrecen un confort visual, lo que en términos de sistemas de iluminación natural, se llama Rendimiento Visual. Así mismo, el ingreso de luz natural en los ambientes interiores aporta al confort térmico, la calidad del aire y la salud. Esto brinda Confort Ambiental y el comportamiento eficiente de los SINAI.
		Confort Térmico	
		Calidad del Aire	
		Salud	

Tabla 8: Tabla Síntesis de los estudiado sobre los SINAI, clasificados por su Importancia. Cuyas características y cualidades son insertadas como parte de los parámetros de los SINAI a tomar en cuenta para aplicación respectiva a la tipología edificatoria existente.

ITEM		TITULO	DESCRIPCION	
<b>II. Por los FACTORES que determinan su comportamiento:</b>	<b>Condiciones climáticas de la zona</b>	cielo de Luminancia uniforme	Son componentes temporales, es decir que varían las condiciones climáticas durante el día. Por lo tanto, de identifica aquellos SINAI que trabajen eficientemente en la mayoría de éstas condiciones, que también están relacionados con los efectos de la luz directa y difusa.	
		cielo Nublado		
		cielo Despejado		
		Orientación	sistemas Fijos	Algunos sistemas son anclados a la edificación, lo que no permite que el sistema capte luz solar durante todo el día (por el trayecto de la luz); sin embargo, existen SINAI diseñados para seguir automáticamente el movimiento del sol durante todo el día. Esta instalación depende del clima, de la orientación y la necesidad del usuario.
			sistemas Móviles manuales	
			sistemas Móviles automáticos	
		luz Exterior	climas fríos, cálidos y templados	Se ja de tomar en cuenta para los SINAI: 1) los tipos de clima, 2) cuando de radiación solar hay en la zona (para poder definir otras funciones del sistema. Ejemplo: fuente de energía), 3) Cuantas horas de insolación se tiene en el día para poder aprovechar y 4) si durante el día y según al recorrido del sol, las obstrucciones causan algún efecto en el sistema.
	radiación solar			
	insolación			
	obstrucciones			
luz Interior	abertura lateral	Si el sistema propaga la luz mediante aberturas para el ingreso de luz cenital (ejemplo: tubos de luz), lateral (ejemplo: persianas de luz) o si ingresa de las dos formas.		
	abertura cenital			
<b>Control de luz directa y</b>	luz Directa	El tipo de luz determina los sistemas de control y apoyo a utilizarse. Si se tiene presencia de luz directa, serán sistemas de control; si se tiene luz difusa o suave,		
	luz Difusa			



		suave	serán sistemas que apoyen a aumentar los niveles de iluminación adecuados en el ambiente. También evita y controla las sombras, contrastes y deslumbramientos excesivos.
Adaptación del ambiente interior a las necesidades y actividades del usuario	nivel de Iluminación adecuado		Para que el ambiente interior se adapte a las necesidades y actividades del usuario, se debe tener especial control en estas condiciones, las que están relacionadas con la Calidad y Cantidad de luz para crear el confort visual adecuado.
	Distribución de luz equitativa		
	iluminación Continua		
	deslumbramiento		
	reproducción cromática		
	contraste		
	Sombra		

Tabla 9: Tabla Síntesis de los estudiado sobre los SINAI, clasificados por los Factores que determinan su comportamiento. Cuyas características y cualidades son insertadas como parte de los parámetros de los SINAI a tomar en cuenta para aplicación respectiva a la tipología edificatoria existente.

ITEM		TITULO	DESCRIPCION
<b>III. FUNCIONAMIENTO de los SINAI</b>	<b>Fenómenos físicos de propagación de la luz</b>	Reflexión	Los fenómenos físicos ópticos son un medio de propagación y transporte de la luz natural hacia un ambiente interior. Cada fenómeno responde a características climatológicas, características arquitectónicas del ambiente (presencia de ventanas o no) y las necesidades del usuario. Todos los sistemas de iluminación solar actúan a partir de estos físicos.
		refracción por Prisma	
		refracción por Haz de Luz	
		Dispersión	
		polarización por Absorción	
		polarización por Scattering	
		polarización por Reflexión	
		polarización por Doble refracción	
		difracción de Fresnel	
		difracción por Hologramas	
	<b>Propagación de la luz y óptica geométrica</b>	elementos de Transporte de luz	La geometría óptica asegura el comportamiento eficiente del sistema en función a las características arquitectónicas del edificio; tomando en cuenta, por ejemplo: la ubicación y profundidad del espacio, las alturas. De tal forma que la iluminación llegue al punto especificado con el nivel de luz requerido.
		elementos de Re-dirección de luz	
		elementos de Extracción de luz	
		elementos de Colección de luz	
		elementos de Emisión de luz	

Tabla 10: Tabla Síntesis de los estudiado sobre los SINAI, clasificados por su Funcionamiento. Cuyas características y cualidades son insertadas como parte de los parámetros de los SINAI a tomar en cuenta para aplicación respectiva a la tipología edificatoria existente.

## 6.2. Síntesis de las características edificatorias existentes de acuerdo a los SINAI

A partir de la información obtenida en éste Ítem en cuanto a la tipología edificatoria existente sobre edificios residenciales, se sintetiza los enunciados para la identificación de aquellos parámetros que permitan la aplicación de los SINAI en la rehabilitación de edificios (edificios residenciales existentes), mostrado en la Tabla Nº 11 y 12.

ITEM	TITULO	DESCRIPCION
<b>I. Por sus PARAMETROS</b>	Forma o volumen	Permite ver situaciones de plantas y espacios edificables, para el cálculo de los ambientes interiores. Así mismo, la identificación de las alturas y ubicación de los volúmenes aporta a la toma de decisión sobre el fenómeno físico a utilizar (reflexión, difracción, etc). Así mismo, se evidencia si por la instalación de los SINAI el edificio sufrirá algún cambio en su arquitectura y estructura.
	Altura	Permite ver la distancia que tiene que recorrer un SINAI en el caso que se utilicen sistemas que transporte luz de forma vertical e incluso horizontal a los ambientes interiores. Por ejemplo: a través de un patio de luz que pueda iluminar de forma vertical a todas las plantas y también conducir luz hacia los ambientes interiores cercanos al patio de luz.
	Intensidad de uso y densidad	Número de habitantes por metro cuadrado, para el cálculo de calor necesario o ventilación en un ambiente determinado, y si éste es de uso común y continuo, o no.

	Distribución interior	La distribución interior espacial tiene relación con la profundidad de los ambientes, su funcionalidad y que ambientes tienen ventana (cenital o lateral) y cuáles no. Por ejemplo: dependiendo de la profundidad de un ambiente, se optará por sistemas adosados a la ventana o guías de luz de transporten luz a ambientes oscuros y sin ventanas.
	Parámetros por cada zona	Cada lugar tiene sus propios parámetros, los cuales se deben revisar y tomar en cuenta sus peculiaridades antes de realizar la instalación.

*Tabla 11: Tabla Síntesis de los Parámetros edificatorios para un edificio residencial, clasificado por sus Parámetros.* Cuyas características y cualidades son insertadas como parte de los parámetros de los SINAI a tomar en cuenta para aplicación respectiva a la tipología edificatoria existente.

ITEM	TITULO	DESCRIPCION
<b>II. Por los OBSTACULOS que impiden la integración de los SINAI</b>	Costos	Costo que implica la instalación del sistema y la rehabilitación energética, y que debe tomarse en cuenta, y si la inversión realizada a un inicio repercute a largo plazo en lograr el ahorro de energía y lograr el uso de energías renovables.
	Integración	Capacidad de integración del sistema en la edificación existente. Suponiendo que los SINAI tiene que adecuarse a las condicionantes arquitectónicas y estructurales del edificio y realizar los mínimos cambios para evitar mayor costo. También, la integración supone que los SINAI elegidos cumplan con brindar un adecuado rendimiento Visual, y esto a su vez suponga, después de realizada la instalación, lograr la calidad de los SINAI.
	Aplicación	Se toma en cuenta la concordancia de los SINAI con la tipología edificatoria elegida, cual es Residencial. Es decir, si el sistema ha sido aplicado o estudiado para viviendas, porque la mayoría de los estudios han sido realizados para oficinas, y como se ha visto es necesario hacer un estudio específico de la calidad de un SINAI para edificio de viviendas (tipología) y en un lugar específico.
	Desarrollo de los sistemas	Si ve si el sistema está en fase de prueba, en fase de desarrollo o si ya es comercial. Esto es muy importante, porque indica la capacidad de disposición de los SINAI a población en general; en el caso que no esté a disposición de la población, pues no podrá hacerse uso de ellos.

*Tabla 12: Tabla Síntesis de los Parámetros edificatorios para un edificio residencial, clasificado por los OBSTACULOS que impiden la integración de los SINAI. Cuyas características y cualidades son insertadas como parte de los parámetros de los SINAI a tomar en cuenta para aplicación respectiva a la tipología edificatoria existente.*

## 7. CLASIFICACIÓN DE LOS SINAI

Para realizar la clasificación de los SINAI, en primer lugar, se ha tomado en cuenta los estudios anteriores sobre este tema, y que han clasificado a éstos sistemas de forma diferente, pero utilizando criterios parecidos; como, por ejemplo: lograr la distribución homogénea de la luz natural al interior de un ambiente, la utilización de dispositivos de control de luz y el ahorro energético.

La clasificación más conocida es la que realiza Martin Kischkoweit-Lopin [36], quien toma como prioridades de estos sistemas: su disponibilidad en el mercado y la fase de los sistemas, cuales están en fase de prueba (investigación) y cuales en pruebas preliminares (desarrollo). En la Tabla N° 13 se presenta la clasificación de los sistemas de luz natural y los criterios que utiliza este autor.

<b>Clasificación de Sistemas de Luz Natural</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sistemas de sombreado:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de cortinas primaria mediante luz cenital difusa</li> <li>Sistemas de cortinas primaria mediante luz cenital directa</li> </ul> </li> <li>✓ Sistemas ópticos: sistemas de iluminación natural sin sombreado                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de guía de luz difusa</li> <li>Sistemas de guía de luz directa</li> <li>Sistemas de dispersión (prisma)</li> <li>Luz transportada</li> </ul> </li> </ul>
<b>Criterios de elección de los sistemas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Protección contra deslumbramientos</li> <li>✓ Vista exterior (conexión con el interior)</li> <li>✓ Guía de luz natural hacia la zona más profunda de la habitación</li> <li>✓ Iluminación homogénea</li> <li>✓ Ahorro de energía (en relación a la iluminación artificial – energía eléctrica)</li> <li>✓ Sistemas dinámicos o de seguimiento</li> <li>✓ Disponibilidad (cuando la luz depende del uso específico de un sistema)</li> <li>✓ Condiciones climáticas</li> </ul>

*Tabla 13: Tabla sobre la Clasificación de sistemas de iluminación natural y los Criterios de elección [36]*  
Cada sistema es utilizado en un clima específico y de acuerdo al ingreso de luz (cenital, lateral).

Verónica García, hace igualmente una clasificación de los sistemas de iluminación natural para espacios profundos en los edificios [37], tomando énfasis en los sistemas de Transporte de luz hacia ambientes profundos, como los tubos y guías de luz; y de los cuales se evalúa: el rendimiento energético y las ganancias térmicas, los aspectos económicos en términos de construcción y mantenimiento, seguridad y los aspectos propios del lugar de trabajo, clasificando de la siguiente forma y con los criterios mencionados en la Tabla N°14.

<b>Clasificación de Sistemas de Luz Natural</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sistemas de regulación o guía de luz</li> <li>✓ Sistemas de Transporte de luz natural</li> <li>✓ Colectores de luz para transporte de luz natural                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Colectores de luz pasivos</li> <li>Colectores de luz activos</li> </ul> </li> <li>✓ Transportación de luz para transporte de luz natural                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de lentes</li> <li>Sistemas de tubos de luz con espejos</li> <li>Sistemas de tubos de luz prismáticos huecos</li> </ul> </li> <li>✓ Distribución de luz                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Extracción de luz</li> <li>Emisión de luz</li> </ul> </li> </ul>
<b>Criterios de elección de los sistemas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vista exterior (conexión con el interior)</li> <li>✓ Ahorro de energía</li> <li>✓ Ser capaz de transportar la luz hasta la médula de los edificios</li> <li>✓ Aumentar los niveles de iluminación en el edificio</li> <li>✓ Que cree un entorno de trabajo más saludable</li> <li>✓ Que sea rentable a largo plazo</li> </ul>

*Tabla 14: Tabla sobre la Clasificación de sistemas de iluminación natural y los Criterios de elección [37], la importancia de su clasificación radica en la clasificación que hace referido al transporte de luz.*

Así también, MG Nair y colegas[35], enfatiza el transporte de luz a ambientes profundos como lo realiza Verónica García, planteando una clasificación de sistemas de mejora de la iluminación natural que puedan transportar luz desde los exteriores hasta los ambientes profundos de un edificio en base a fenómenos físicos a partir de guías y/o tubos de luz [35] en condiciones de cielo claro o despejado.; además toma en cuenta principalmente solo el comportamiento del sistema, la integración de estos sistemas en el edificio y su fuente de energía, como se ve en la Tabla N°15:

<b>Clasificación de Sistemas de Luz Natural</b>	
✓	<p>Sistemas de guía de luz</p> <p>Sistemas con luz directa: Reflexión de luz</p> <p>Sistema de estante de luz, repisa de luz, guía de luz y sombra, micro-guía de luz, sistema de haz de luz , paneles prismáticos, sistema de acristalamiento prismático y lamina de recubrimiento, panel de canalización de luz.</p> <p>Sistemas con luz difusa: Concentración de luz</p> <p>Sistema de techo anidólico, anidólico integrado, persianas solares, anidólico de guía de luz cenital.</p>
✓	<p>Sistemas de Colectores de luz</p> <p>Sistemas pasivos</p> <p>Sistemas de re-direccionamiento de la luz: panel cortado con láser.</p> <p>Sistemas de concentración de luz: concentradores anidólicos, fibras solares fluorescentes.</p> <p>Sistemas activos</p> <p>Sistemas de re-direccionamiento de la luz: heliostatos, iluminación por espejos solares.</p> <p>Sistemas de concentración de luz: lentes de fresnal, espejos parabólicos</p>
✓	<p>Sistemas de guía de luz cerradas</p> <p>Sistema especular de reflexión múltiple</p> <p>Tubo con espejos de luz: tubos verticales, tubo doble</p> <p>Sistemas de reflexión interna total</p> <p>Guía de luz hueco: tubo de luz prismático</p>



Guía de luz solido: fibra óptica, iluminación solar de fuente remota, varilla óptica Sistemas convergentes: lentes ✓ Sistemas difractivos de luz Sistemas holográficos y lamina de recubrimiento Sistemas holográficos ópticos ✓ Sistemas híbridos
<b>Criterios de elección de los sistemas</b>
✓ Vista exterior (conexión con el interior) ✓ Eficiencia y eficacia ✓ Disponibilidad en el mercado o fase del sistema (estudio o desarrollo) ✓ Integración de los sistemas ✓ Tipo de ingreso de luz ✓ Condiciones climáticas ✓ Principio físico de transmisión para el comportamiento del sistema ✓ Distribución lumínica ✓ Fuente de luz eléctrica ✓ Sistemas de control

*Tabla 15: Tabla sobre la Clasificación de sistemas de iluminación natural y los Criterios de elección [35], la importancia de su clasificación radica en la clasificación que hace referido al transporte de luz a ambientes profundos de la edificación a través de principios físicos.*

A diferencia de los autores de la figura anterior que hacen su clasificación a partir de sistemas que transportan luz a ambientes profundos [35]; en el caso de los sistemas estudiados por el EIA, centran la clasificación de los sistemas en el transporte de luz natural hacia ambientes no tan profundos y con presencia de huecos o ventanas en el ambiente [23], para el ingreso de luz natural de forma cenital o lateral y en condiciones de cielo claro o despejado.

La clasificación del EIA [23] se basa en la que realiza Kischkoweit-Lopin, pero además agrega a los criterios de elección de este autor, criterios como los principios físicos de funcionamiento, y otros cálculos para evidenciar la eficiencia y eficacia del sistema. Así mismo, agrupa a aquellos sistemas que pueden trabajar con intercambiando energía eléctrica, así se muestra en la en la Tabla N° 16 la clasificación y los criterios utilizados por el EIA [23]

<b>Clasificación de Sistemas de Luz Natural</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>Sistemas de transporte de luz natural</b><ul style="list-style-type: none"><li>Sistemas de estantes de luz</li><li>Sistema de persiana y cortinas de luz</li><li>Sistema de paneles prismáticos</li><li>Sistema de panel cortado con laser</li><li>Sistema de claraboya selectiva angular</li><li>Sistema de cortinas de guía de luz</li><li>Sistema de cristal lumínico dirigido</li><li>Sistema cenital de cristal lumínico dirigido con elementos ópticos holográficos</li><li>Sistema de luz direccionada con protección selectiva a partir de elementos ópticos holográficos</li><li>Sistema de persianas colares anidólicos</li></ul></li><li>✓ <b>Sistemas con controles de luz-sensible (luz natural y eléctrica)</b><ul style="list-style-type: none"><li>Sistemas con comportamiento en luz natural y eléctrica</li><li>Los sistemas de control de iluminación eléctrica</li></ul></li></ul>
<b>Criterios de elección de los sistemas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Descripción técnica:<ul style="list-style-type: none"><li>Componentes</li><li>Producción</li><li>Ubicación del sistema en las ventanas o huecos</li><li>Barreras técnicas</li></ul></li><li>✓ Aplicación del sistema</li><li>✓ Principios físicos y sus características</li><li>✓ Control</li><li>✓ Mantenimiento</li><li>✓ Costo y ahorro de energía</li><li>✓ Ejemplos de uso</li><li>✓ Simulaciones, medidas y resultados</li></ul>

Tabla 16: Tabla sobre la Clasificación de sistemas de iluminación natural y los Criterios de elección [23]

Y finalmente, E.J. Gago [7], clasifica los sistemas de iluminación natural de tal forma que cumplan no solo con proteger a los ocupantes contra el deslumbramiento a causa de la luz directa, sino también maximizar la penetración de la luz natural en los edificios basándose en las preferencias de los ocupantes, permitiendo al mismo tiempo la reducción del consumo eléctrico para iluminación y calefacción; para lo cual plantea sistemas en base a estrategias de control y la dirección de la luz, clasificando y utilizando los siguientes criterios: (Tabla N° 17).

<b>Clasificación de Sistemas de Luz Natural</b>	
✓	<p><b>Sistemas de iluminación Lateral</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de estantes de luz</li> <li>Sistemas de cristales prismáticos</li> <li>Sistemas de espejos y hologramas</li> <li>Sistemas de techos anidólicos</li> <li>Sistemas de celosías y persianas</li> </ul>
✓	<p><b>Sistemas de iluminación cenital</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de claraboya</li> <li>Sistemas con monitor de techo y sistemas de diente de sierra</li> <li>Sistemas de tubos de luz</li> </ul>
<b>Criterios de elección de los sistemas</b>	
✓	Protección contra la reflexión
✓	Vista exterior (conexión con el interior)
✓	Guía de luz natural hacia la zona más profunda de la habitación
✓	Iluminación homogénea
✓	Ahorro de energía (en relación a la iluminación artificial y sistemas de calefacción – energía eléctrica)

*Tabla 17: Tabla sobre la Clasificación de sistemas de iluminación natural y los Criterios de elección [7]*  
Cada sistema es utilizado en un clima específico, de acuerdo a la dirección de la luz (cenital, lateral) y estrategias para el control de ingreso de luz.

## 7.1. Caracterización de la clasificación

De las clasificaciones mencionadas en líneas anteriores, se destaca los planteamientos de MG Nair [35] y Verónica, García H. [37], porque destacan los “*Factores que determinan el comportamiento de los SINAI*”, realizados en el Ítem 2.3, descritos en la Figura N° 3 y se nombran a continuación:

- ✓ Las condiciones climáticas de la zona.
- ✓ El control de luz directa y difusa.
- ✓ La adaptación del ambiente interior a las necesidades o actividades del usuario.
- ✓ El transporte y distribución de la luz natural.

Y, los cuales están íntimamente relacionados con dos condiciones vistas en el proceso del trabajo:

- ✓ *Primera condición:* Los edificios deben ser diseñados teniendo en cuenta factores como: la necesidad del usuario – el tipo de edificio – las condiciones climáticas [35], Ítem 2.2.
- ✓ *Segunda condición:* El Rendimiento Visual se obtiene utilizando los conceptos de Calidad y Cantidad de Luz, en el que intervienen: el individuo - el objeto - la iluminación [19], Ítem 2.5.

Entonces, tomando en cuenta estos enunciados, se puede decir que existe una clara tensión entre el Individuo – la Edificación - SINAI y de éstas, la de más **importancia en relación a la Rehabilitación Energética** es la **Edificación**, ya que **los SINAI deben integrarse a las edificaciones existentes**. Siendo este un pie forzado, puesto que habrá que diseñar o adecuar estos sistemas a las características arquitectónicas y estructurales del edificio; y, por lo tanto, la clasificación que se realice sobre los SINAI debe tener como primer objetivo ello.

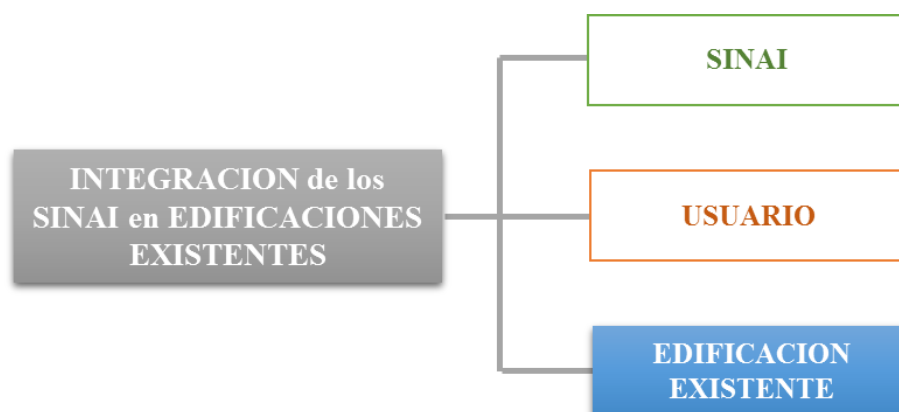


Figura 30: Elementos necesarios para la Integración de los SINAI en Edificaciones Existentes, compuesto por los SINAI y todos los factores que intervienen sobre ellos, el Usuario y el confort ambiental de acuerdo a las

necesidades de éste; y la Edificación Existente, como condicionante para las acciones de la Rehabilitación Energética.

De la Figura N° 30. La “Edificación” está referida a la pre-existencia del bloque, que constituye un pie forzado para el diseño de los SINAI y condiciona su ubicación, la distribución funcional interior, la profundidad de los ambientes y la altura del edificio. Esto pone de manifiesto que, para lograr una adecuada iluminación, el transporte de luz natural debe hacerse horizontal y verticalmente de acuerdo a las características del ambiente y el edificio.

Respecto a los “SINAI”; es necesario analizar el comportamiento de la luz, física y geoméricamente, porque las características lumínicas exteriores varían durante el día y todo el año, por tanto, se debe realizar un estudio de acuerdo a un clima y lugar específico, con la intención de predecir el comportamiento climático de una zona determinada de tal forma que se pueda aplicar sistemas dinámicos que actúen en torno al movimiento del sol y así lograr un buen Rendimiento Visual; siendo éste el que conjuga todos los factores y estudios relacionados a la Luz Natural y los sistemas de Iluminación Interior.

El siguiente aspecto es el “Usuario” y el confort ambiental que debe brindar el edificio, a través de los SINAI, obteniendo una distribución lumínica homogénea y continua en el ambiente. Lo que aporta a la salud de la persona y a su bienestar. Estos tres aspectos conjugados, aportan al ahorro energético y las reducciones de CO<sub>2</sub>, objetivos generales y por los cuales se estudia este tipo de estrategias ambientales.

- **Caracterización de la clasificación de los SINAI**

Como parte del sustento de la clasificación que hace Verónica García, estudia los sistemas de iluminación natural por su **capacidad de transportar la luz a ambientes profundos** o sin luz, tomando en cuenta la distancia que un sistema puede iluminar de acuerdo al tipo de fenómeno físico que actúe sobre él [37]. MG Nair [35] por su parte, hablan sobre la integración de los sistemas al edificio y la propagación de la luz natural hacia espacios profundos que carecen de huecos que puedan ofrecer iluminación lateral o cenital; así mismo habla de la propagación de la luz a través de diferentes fenómenos físicos.

En la Figura N° 31, se muestra gráficamente aquellos ambientes profundos de un edificio de cinco niveles, que no reciben luz natural y que por su ubicación tienen que utilizar luz artificial, muy a pesar de la orientación que lleven. Y, en la Figura N° 32 se muestran algunos de los tipos de propagación de

luz para sistemas de iluminación natural encontrados que pueden integrarse al edificio, para el caso de la imagen, un edificio de 3 plantas.

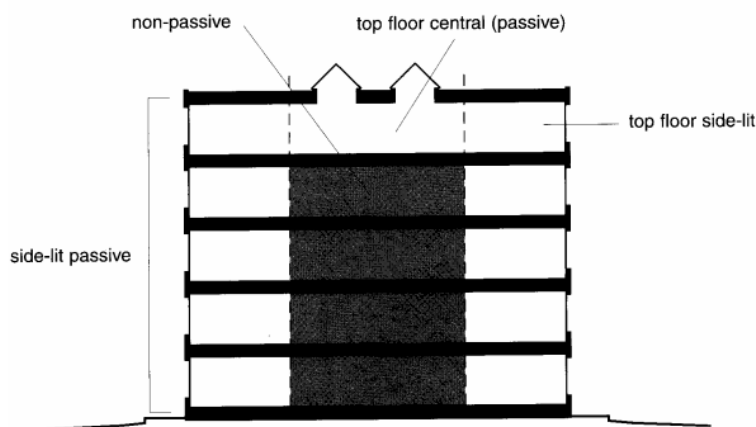


Figura 31: Figura que muestra la profundidad de los ambientes en espacios cerrados, recibiendo luz directa los ambientes hacia las fachadas y el ambiente del ultimo nivel con iluminación cenital. [37]

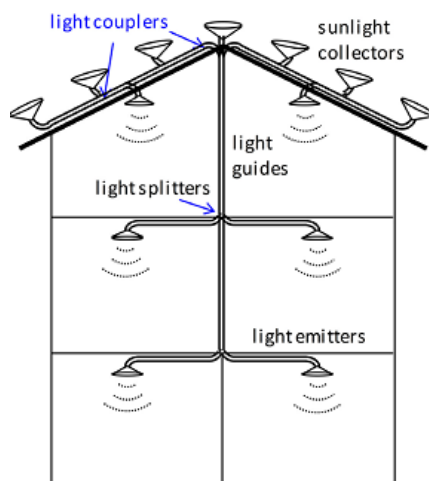


Figura 32: Los diferentes tipos de propagación de luz para Sistemas de Iluminación Natural. Fuente: [113]

Entonces, se **clasifica los SINAI en función a la profundidad de iluminación interior y las características arquitectónicas del ambiente**; teniendo así:

- ✓ **SINAI de Corto alcance.** - son aquellos sistemas cuyo ambiente interior recibe luz a través de una ventana expuesta hacia la fachada del edificio de forma directa, sea el ingreso de luz lateral o cenital; trabajando entonces con luz directa, difusa o ambos al mismo tiempo.

La distancia de propagación de luz es hasta 10m de profundidad con respecto a la ventana, dependiendo del tipo de luz. Si la luz recibida es difusa y de ingreso lateral, la distancia de propagación de luz es entre los 3m a 5m de profundidad; y si es directa, la distancia es hasta 10m

de profundidad con ingreso de luz lateral o cenital [37]. La distancia de propagación bajo recepción de luz difusa puede aumentar (hasta 10m de profundidad) si el sistema utilizado es Dinámico, quiere decir que actúa de acuerdo al movimiento del sol durante el día y de acuerdo a las estaciones durante el año, de tal forma que capta la mayor luz directa posible.

Al tener ventana expuesta hacia la fachada, muestran problemas con el control de deslumbramientos, sombras inadecuadas, contrastes y reproducción cromática que origina fatiga visual. Todo ello ocasiona que la iluminación en el ambiente no sea homogénea y que el nivel lumínico varíe de acuerdo a las condiciones climáticas exteriores, como cielo despejado o nublado. Estos sistemas están integrados en las ventanas ubicadas en la fachada del edificio, en algunos casos en las aberturas cenitales, utilizable sólo para el ambiente receptor directo de luz exterior (ver Figura N° 31). Ocasionando modificaciones formales y estéticas al edificio, por ser éstos elementos claramente visibles.

- ✓ **SINAI, de Mediano alcance.** - son aquellos sistemas cuyo ambiente interior recibe luz a través de una ventana No expuesta, pudiendo ser patios de luz o pozos de luz, es decir con captación de luz directa (a través de la ventana) e indirecta (cuando se capta luz de la cubierta o terraza del edificio). El ingreso de luz es lateral salvo aquellos pisos translucidos (como el vitrobloc o vidrio estructural, por ejemplo), trabajando entonces con luz difusa.

La distancia de propagación de luz es a más de 10m de profundidad con respecto a la ventana No expuesta, dependiendo del tipo de luz. Si la luz recibida es difusa, la distancia de propagación de luz es entre los 3m a 5m de profundidad [37]; y si la captación de luz natural es Indirecta a través de la cubierta o terraza, la distancia de propagación de luz es mas de 10m de profundidad bajo condiciones de tipo de luz directa o difusa.

Como la integración del sistema se realiza en las ventanas de fachadas no expuestas o en la cubierta del edificio no presenta inconveniente estético o visual, salvo para el usuario de acuerdo a su percepción particular. Por el tipo de ingreso de luz difusa, no genera problemas de deslumbramientos, sombras o brillos, pero sí problemas de contraste y reproducción cromática, así mismo, la distribución de luz no es homogénea.

- ✓ **SINAI, de Largo alcance.** - son aquellos sistemas cuyo ambiente interior no tiene ninguna ventana o por la dimensión reducida de estas no llegan a los niveles mínimos de Iluminancia requerida [19] impidiendo realizar cualquier tipo de actividad al usuario y teniendo que recurrir obligatoriamente a la luz artificial. No existe captación de luz ya que el ambiente no tiene ventanas, por consiguiente, no ingresa ningún tipo de luz natural (difusa ni directa).

El ingreso de luz a estos ambientes se realiza de forma lateral y cenital, a través de colectores solares integrados a la cubierta o terraza del edificio, y cuya parte del sistema de encarga de transportar la luz hacia los ambientes, originando a su paso la iluminación o no del espacio recorrido (ver Figura N° 32). No existen problemas de adaptación al ambiente interior, pero si se debe considerar que al emitir la luz natural captada, la distribución lumínica del ambiente sea homogéneo. Estos sistemas son integrados a las cubiertas o terrazas del edificio, por lo que no supone un problema estético, sin embargo, presenta inconvenientes visuales si se decide el transporte de luz por la fachada del edificio.

En relación a la distancia de propagación, son los que ofrecen mayor profundidad de iluminación, estando a más de 10m de profundidad, considerando incluso en algunos estudios una distancia de 60m de propagación de luz [A56]. Es preciso comentar que, para el caso del proyecto, se toma como medida máxima las consideradas en el Ítem 3.2. sobre el Alcance del proyecto para la tipología de edificios Plurifamiliar de 4 a 6 plantas. Es decir, la profundidad máxima de propagación de luz será de 20m.



En la Tabla N° 18, se muestra resumido las principales diferencias de la clasificación realizada:

CARACTERISTICAS	SINAI de Corto Alcance		SINAI de Mediano Alcance		SINAI de Largo Alcance	
<b>Objeto de recepción de luz</b>	Sistemas cuyo ambiente interior recibe luz a través de una ventana expuesta, hacia la fachada.		Sistemas cuyo ambiente interior recibe luz a través de una ventana No expuesta (patios o pozos de luz).		Sistemas cuyo ambiente interior No tiene ventanas, o por la dimensión reducida de estas no llegan al nivel mínimo de Iluminancia requerida [19]	
<b>Captación de luz natural</b>	Directa, mediante la ventana		Directa e Indirecta., mediante la ventana y cubierta o terraza respectivamente.		No existe captación de luz natural.	
<b>Tipo de luz que capta directamente al ambiente</b>	Luz directa, difusa o ambos.		Luz difusa		No existe ingreso de luz natural.	
<b>Ingreso de luz</b>	Lateral (horizontal) y Cenital (vertical).		Lateral, salvo pisos translúcidos (vertical).		Lateral (horizontal), Cenital (vertical) ya combinación de ambos.	
	para luz DIFUSA	de hasta 5m de profundidad con respecto a la ventana,	para luz DIFUSA	hasta 5m de profundidad con respecto a la ventana no expuesta.		de 10m a 20 m de profundidad, captando luz cenital. Tomando en cuenta el alcance del

<b>Distancia de propagación de la luz</b> [37]		con ingreso de luz horizontal y fijo*			para luz DIRECTA	proyecto (hasta 6 plantas construidos).
	para luz DIRECTA	hasta 10 m de profundidad con respecto a la ventana, con ingreso de luz vertical y horizontal	para luz DIRECTA y DIFUSA	más de 10m de profundidad, si se capta luz del exterior, originando ingreso de luz vertical y horizontal.	Y DIFUSA	
<b>Integración al edificio</b>	Sistemas integrados a las ventanas de las fachadas exteriores.		Sistemas integrados a las ventanas de fachadas no expuestas y a la cubierta o terraza del edificio.		Sistemas integrados a la cubierta o terraza del edificio.	
<b>Problemas de adaptación al ambiente interior</b>	Problemas con el control de deslumbramientos, sombras, contrastes y reproducción cromática.		Problemas de contraste y reproducción cromática.		No existen problemas de adaptación al ambiente interior.	
<b>Iluminación natural interior</b>	La distribución de luz interior no es homogénea y el nivel lumínico		La distribución de luz interior no es homogénea.		No existe problemas, sin embargo, se debe considerar que la luz natural	

	varía de acuerdo a las condiciones climáticas exteriores.		captada este distribuida de forma homogénea al interior del ambiente.
<b>Condiciones del cielo</b>	Depende del diseño de cada sistema.	Depende del diseño de cada sistema.	Depende del diseño de cada sistema.
<b>Modificaciones a la estética del edificio</b>	Presenta inconvenientes formales, por ser un elemento claramente visible al ubicarse en la fachada del edificio.	Los inconvenientes formales son mínimos, los inconvenientes visuales son acuerdo a la percepción del usuario.	Presenta inconvenientes visuales si se decide el transporte de luz por las fachadas del edificio.
<b>Funciones de la propagación de luz</b>	Depende del diseño de cada sistema.	Depende del diseño de cada sistema.	Depende del diseño de cada sistema.

\* Factor considerado de acuerdo a su orientación. El sistema es fijo cuando el dispositivo no se mueve en torno al recorrido del sol, lo que ocasiona que en determinadas horas no reciba luz suficiente.

*Tabla 18: Diferencias de la Clasificación de los SINAI en función a la Profundidad de Iluminación Interior y las Características Arquitectónicas del Ambiente, comparando las características de cada clase.*

Los Fenómenos Físicos de Propagación de la Luz (Ítem 2.4.1) actúan con el medio de propagación y promotor de la iluminación natural [36]; y la Óptica Geométrica aplica una aproximación geométrica en línea recta de la luz hacia puntos dirigidos de acuerdo a un cálculo determinado (Ítem 2.4.2.) [50]. Por lo cual se realiza una sub-clasificación tomando en cuenta los Fenómenos Físicos de Propagación de la Luz y su aplicación utilizando la Óptica Geométrica, logrando la creación de **diversas funciones de acuerdo a la necesidad de cada sistema**, siendo estos:

Concentración – Distribución - Transporte – Re-dirección – Extracción – Emisión [37, 35, 23]

Los cuales han sido identificados y extraídos de los recursos de investigación estudiados y se describe a continuación.

- ✓ *Función de concentración:* el sistema contempla dispositivos que colectan o captan la luz solar.
- ✓ *Función de distribución:* el sistema se encarga de distribuir la luz al interior del ambiente, ya sea de forma homogénea o hacia un punto fijo.
- ✓ *Función de transporte:* el sistema se encarga de transportar la luz hacia una ubicación determinada del edificio para luego ser distribuida en el ambiente.
- ✓ *Función de redirección:* en algunos casos, de acuerdo al comportamiento óptico del sistema. La dirección de la luz varía; modificando la zona de proyección de la luz natural.
- ✓ *Función de extracción:* el sistema se encarga de extraer la luz de la línea de transporte principal y distribuirlos en una rama secundaria para iluminar un ambiente específico.
- ✓ *Función de emisión:* son puntos de luz natural, es la terminal del sistema que dota de luz solar al ambiente.

En la Figura N°33, se ve la función específica que cumple cada uno de estos, así mismo, definido y sustentado la caracterización de los SINAI, se procede con el desarrollo de los mismos.

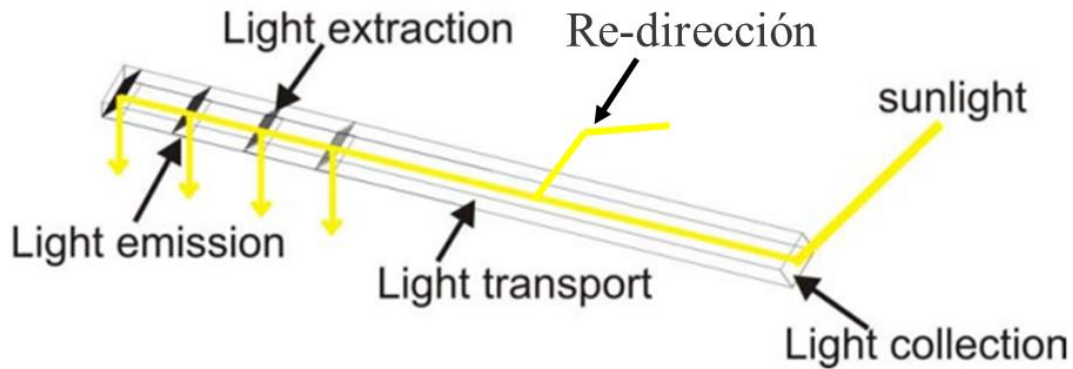


Figura 33: Funciones de la luz de acuerdo a cada Sistema Lumínico, tomando en cuenta los fenómenos físicos de propagación de la luz y su aplicación utilizando la geometría óptica.

## 7.2. En Función a la Profundidad de Iluminación Interior y las Características Arquitectónicas del Ambiente

### 7.2.1. SINAI de Corto Alcance

#### 7.2.1.1. SINAI tipo Estantes de luz

*Característica:* Paneles de ancho considerable [90], ubicados en la parte superior de la ventana. Actúa un solo panel o muy pocos, y separados visiblemente entre ellos.

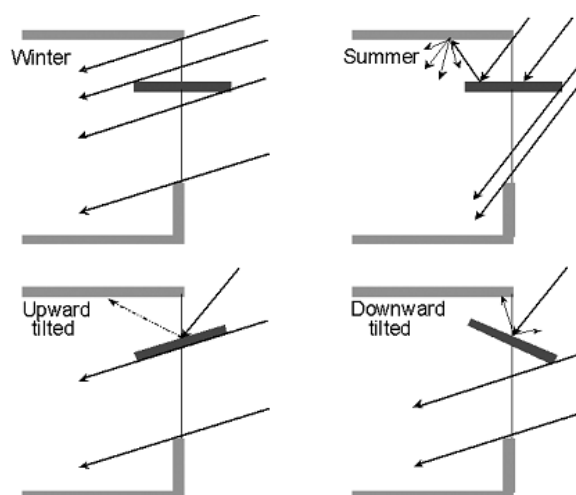
- Estante de luz convencional

*Principios físicos:* reflexión

SINAI pasivo, diseñado para todo tipo de climas [7], principalmente para climas cálidos [85] bajo cielo despejado y luz directa en la mayoría del tiempo [84, A8]; pero también puede trabajar bajo cielo cubierto y luz difusa [85]. Su función es el de distribución.

Un estante de luz es un sistema de panel o paneles instalados de forma horizontal como parte de la estructura de las ventanas o integradas a las fachadas. La luz del sol incide sobre los estantes de luz y lo refleja hacia el techo, logrando iluminar naturalmente el ambiente interior [85]; distribuyendo la luz de forma homogénea al interior del ambiente [86], equilibrando el nivel lumínico de las zonas cercanas a la ventana con las más profundas, mejorando el contraste de iluminación interior [83] y logrando propagar a luz hasta 7m de profundidad de forma uniforme [35].

El estante adosado a la ventana protege de deslumbramientos y sombras no deseadas, controlando el nivel de confort visual interior [35]; generando menos sensación de calor al interior de ambiente (verano) y mayor sensación de calor al permitir el ingreso de luz (invierno) [85]. A su vez, los paneles giran en su eje de acuerdo a la necesidad de confort térmico y visual [84], como se observa en la Figura N°34. Estos estantes suelen ser maniobrados manualmente, por lo que es preciso tener en consideración la inclinación de estas persianas [23], resultando ser hasta cierto punto un inconveniente si no se toma en cuenta estas consideraciones.

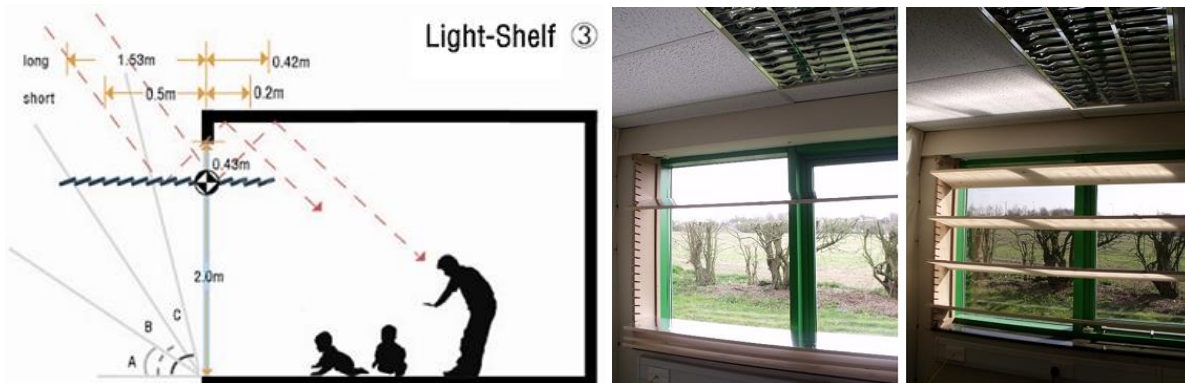


*Figura 34: Sección de una fachada integrado con el SINAI Estante de Luz. Muestra el movimiento y posición del estante de acuerdo a las estaciones del año (trayectoria de la luz del sol en invierno y verano) y la necesidad del usuario para obtener confort ambiental. Estante de tipo A. Fuente: [35]*

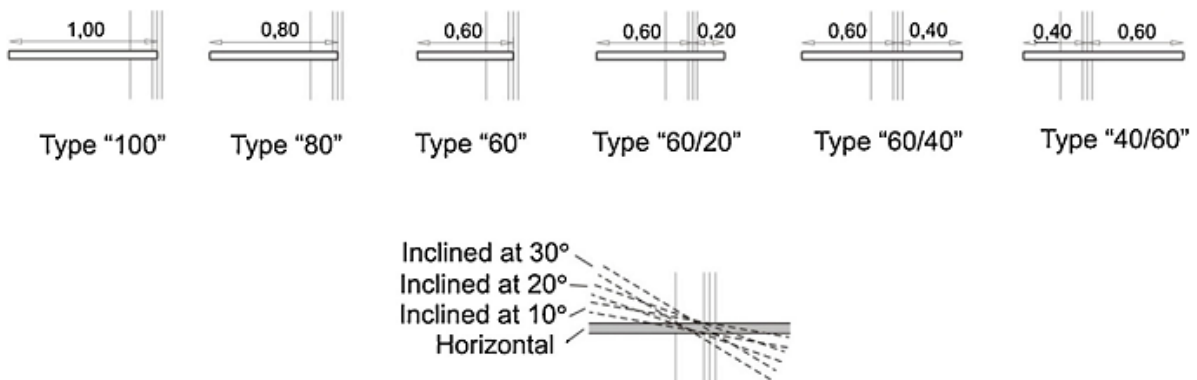
Existe también dispositivos cuyo panel no va ubicado el eje de la ventana, estando ubicado más cercano o más lejano con respecto al eje de la ventana [84], también se debe tener en cuenta la altura del techo con respecto a la altura de la persona para evitar que la visual exterior se impida [37]. Jeong Tai Kim y Gon Kim, indican que la altura mínima de instalación de una estante de luz con respecto al piso debe ser de 1,60m con el fin de que éste no bloquee la vista [87].

Según su ubicación se clasifican en: A. Estantes medios, B. Estantes internos y C. Estantes externos. De estos, el más eficaz es el de tipo C, que absorbe la mayor parte del calor solar por la parte superior del estante, generando mayor sombra e irradiando mayor iluminación al interior de la sala [82], sin embargo, en ciertas horas del día no llega la suficiente luz al ambiente por el ancho excesivo del estante hacia el exterior de la ventana (originando sombra excesiva) [89]. Con respecto al tipo A, por estar ubicado en el eje de la ventana, no ofrece control completo de sombra y deslumbramientos, ya que no es capaz de controlar la luz del sol en horas altas de la tarde o al inicio de la mañana. Y, en el caso de

los de tipo B, no llegan a controlar la luz directa en ciertas épocas del año, y formalmente ocupa mayor área interior reduciendo su área útil, pero modifican menos la estética del edificio por estar instalado al interior del ambiente (Figura N°35).



**Figura 35: Clasificación de los SINAI Estantes de luz.** Izquierda: Tipo C (estante externo), ofrece mayor control de luz exterior durante todo el año, bajo luz directa o difusa. Fuente: [82]. Derecha: Tipo B (estante interno), control de luz exterior por épocas, funciona mejor en verano, pero reduce el área útil interior. Fuente: [83]



**Figura 36: Seis tipos de estantes de luz y sus inclinaciones.** Para el caso del gráfico, el lugar de estudio es Grecia y las condiciones de clima es bajo cielo despejado. Evitando una inclinación mayor a 45° de tal manera que no se obstruya la visibilidad exterior y evitar sombras excesivas. Fuente: [84]

A diferencia del sistema de persianas de luz que bloquean toda la visibilidad por las ventanas, el estante de luz permite las visuales al exterior [7, 83]. Sin embargo, al utilizar más de dos paneles, debe tomarse en cuenta el giro del estante para no perder las visuales o generar mayor sombra de la debida, tomando en cuenta que estos pueden ser ubicados en la parte superior como en toda la ventana; por ello es recomendable tener una inclinación menor a 45° [84]. En la Figura N°36 se muestra en sección diferentes posiciones e inclinaciones de los estantes de luz.

Es el sistema de iluminación natural más simple y más rentable [23]. Gon Kim [82], señalan en su estudio que con el sistema se puede generar un ahorro energético del 11% al minimizar la utilización de sistemas de enfriamiento y ventilación (en zonas cálidas) [82], porque trabajan bajo todo tipo de cielo, tipo de luz y clima. Más aún si estos sistemas tienen un comportamiento dinámico [88], al inclinarse automáticamente los estantes de luz de acuerdo a las características climáticas [83, 88], adaptándose a cualquier condición e incluso de acuerdo a la necesidad el usuario en un tiempo preciso.

En cuanto a su producción, existen en el mercado varios productos de este tipo de sistema; sin embargo, no es estándar porque cada debe adaptarse al tamaño de la ventana [23]

#### ▪ **Estantería de Sombra Liviana**

*Principios físicos:* reflexión y difusión.

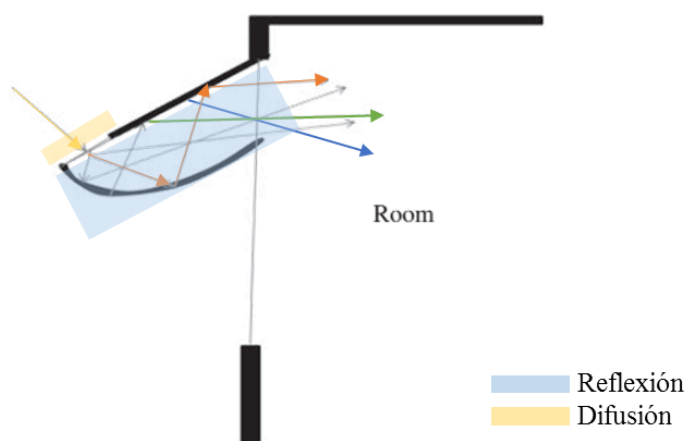
SINAI pasivo, diseñado para climas cálidos, bajo cielo despejado y bajo luz directa [36]. Su función es distribuir la luz al interior del ambiente.

Este sistema tiene un solo estante, haciendo de control de sombra y re-direccionando la luz al interior del ambiente [35], sin embargo, no distribuye la luz a todo el ambiente, sino hace como un emisor de luz puntual [23], siendo este un inconveniente del sistema.

Este sistema está adosado a la parte superior de la ventana, y su ángulo de giro está en torno a uno de los bordes del estante (Figura N°37); por lo que no ofrece abertura lumínica superior (a diferencia del anterior); por lo tanto, la forma de reflejar la luz varía notablemente. En este caso, captura los rayos solares a través de una pequeña abertura vidriada en el extremo libre del panel, por donde entran los rayos y se reflejan en la superficie parabólica que refleja en diferentes direcciones, los cuales, al penetrar en el ambiente interior iluminan en toda dirección [89]. Esta pequeña abertura vidriada actúa como difusor, de tal forma que después de al salir de la superficie parabólica, se dirige en muchas direcciones hacia el techo, es decir, los rayos luminosos se expanden en todo el techo [35], tal como se observa en la Figura N° 38.

El inconveniente con este sistema es que, al tener una abertura mínima vidriada de captura de rayos solares, funciona eficientemente a horas donde el sol este a mayor altura (zenit), pero a horas iniciales y finalizando el día, no capta la luz suficiente y de acuerdo a la estación del año no puede llegar a proteger de sombras y deslumbramientos.





*Figura 37: Vista en sección del SINAI Estantería de Sombra Liviana.* Sistema que refleja la luz difusa que ingresa por un espacio vidriado del panel superior de la estantería hacia la superficie parabólica, permitiendo el ingreso de luz en todas las direcciones al ambiente (no sólo reflejado en el techo o cielorraso). *Fuente:* [35]



*Figura 38: SINAI Estantería de Sombra Liviana.* *Izquierda:* Luz del día en una habitación convencional con sombrilla. *Derecha:* habitación con el sistema instalado, se observa la variación del nivel lumínico; el resplandor es más fuerte cerca a la ventana, y va disminuyendo a mayor profundidad. *Fuente:* [23]

La diferencia con el primer sistema estudiado, es que el Estante de Luz refleja la luz en el techo, pero es necesario tener la inclinación adecuada de los paneles, y si es posible cada panel ha de variar su inclinación [84] para obtener iluminación homogénea en todo el ambiente. En cambio, este sistema al generar la salida de rayos luminosos en diferentes direcciones, ilumina de todo el ambiente de forma homogénea [35] sin necesidad de un cálculo de inclinación, ya que este sistema es fijo [23]. En cuanto a la integración del sistema, es de acuerdo a la dimensión de cada ventana y va instalado hacia el exterior de la fachada.

El grado máximo de inclinación para un adecuado funcionamiento es de  $60^\circ$  [88], generando un confort térmico de acuerdo a la estación. Este sistema se puede encontrar en el mercado, sin embargo no existen estudios actuales [23].

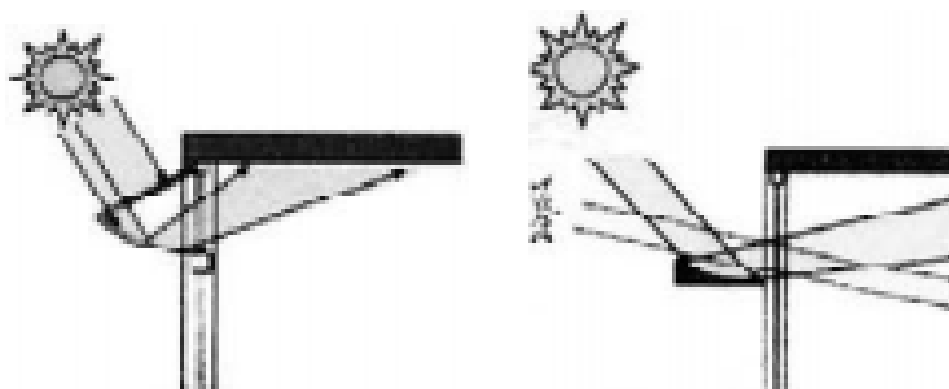
#### ▪ Estantería de Sombra Ultra liviana

*Principios físicos:* reflexión

SINAI activo, diseñado para todo tipo de climas [36] y bajo cualquier condición de cielo. Su función es distribuir la luz al interior del ambiente, pudiendo también re-direccionar la luz.

Este modelo es una variación del sistema Estantería de Sombra Liviana, la diferencia radica en que todo el panel superior del estante es vidriado, por lo que capta toda la luz posible. Diseñado con una inclinación específica de acuerdo al cálculo geométrico para la cada zona [37]. Siendo sus funciones principales coleccionar luz (superficies parabólicas) y distribuir homogéneamente la luz, pero no genera mucho control de sombras y deslumbramientos, salvo en determinadas horas y dependiendo de la altura del ambiente interior, pues este sistema es fijo [23]; y de acuerdo al modelo de diseño, puede también re-direccionar la luz.

De acuerdo a los modelos conocidos, pueden presentarse dos formas: A. “Guías de luz”, trabajan mediante reflexión (reflejando los rayos solares al techo), aplicados principalmente en climas cálidos y bajo cielo despejado [23]; y B. “Guías de luz re-direccionado”, trabajan mediante reflexión especular por el material utilizado (aluminio), cómo el modelo anterior, re-direccionando los rayos de sol a todas las direcciones del ambiente, aplicado en todo tipo de climas y bajo cielo despejado o nublado [36]. Por lo tanto, sus funciones serán de distribución, y re-dirección respectivamente, Figura N° 39.



*Figura 39: SINAI Estante de luz con Colector Parabólico. Izquierda: modelo tipo A, solo reflexión. Derecha: modelo tipo B, reflexión y difusión. Fuente: [36]*

Este sistema alcanza hasta 10 m de profundidad de propagación de la luz con respecto a la ventana [37]. Si se desea que éste sistema pueda controlar el resplandecimiento y sombras de la luz exterior, es necesario que el ambiente tenga una altura considerable de piso a techo [23], por lo que la mayor desventaja de estos sistemas es la integración al edificio [37], si no se considera al inicio del proyecto. Ver Figura N° 40.

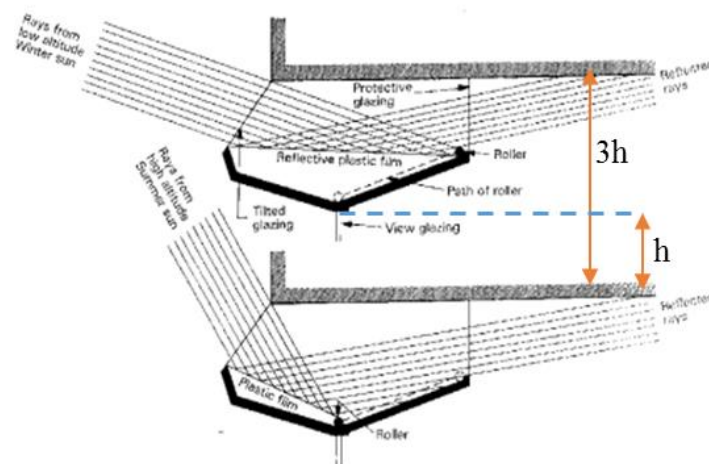


Figura 40: SINAI Estante de Luz con colector Parabólico. Se observa la proporción del sistema instalado en el edificio con respecto a la altura del ambiente. Fuente: [23]

Estos sistemas al recibir luz directa pueden emitir luz directa, lo que puede originar resplandecimientos o brillos molestos al interior del ambiente; por lo que llevan al interior del sistema un dispositivo mecánico (a modo de persianas) que bloquea la luz directa [23]; lo que hace que este sea más caro que los sistemas anteriores. En cuanto a la integración con el edificio, tiene las mismas consideraciones que es sistema anterior.

#### ▪ Estantes de luz Cinéticos

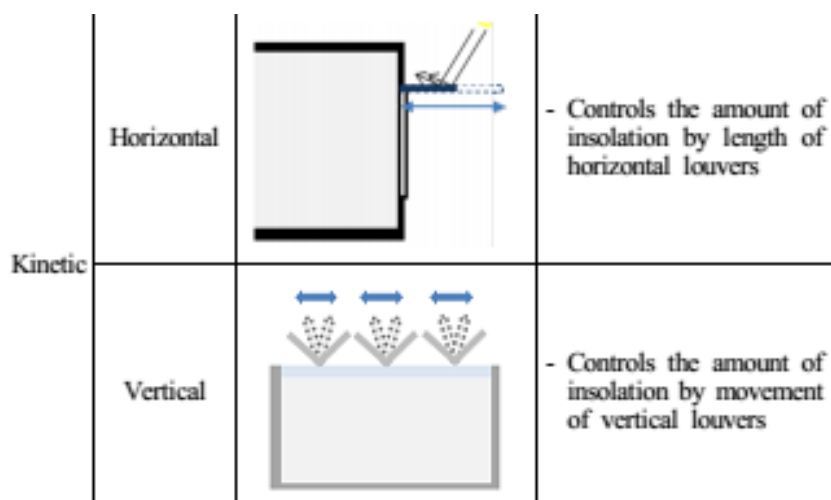
Principios físicos: reflexión

SINAI activo, diseñado para todo tipo de clima y bajo cualquier condicione de cielo. Su función es distribuir la luz al interior del ambiente.

Estos sistemas aparte de lograr una inclinación en torno al eje de ventana y al extremo del estante, tienen la opción de lograr movimientos cinéticos de los estantes. Tienen dos tipos de estantes integrados a la ventana: A. Horizontales, que se ensanchan o se encogen, y B. Verticales, que se abren o se cierran. Ambos tipos generan menor ganancia de calor interior (cuando se requiere) porque funcionan en

cualquier estación, de acuerdo a las necesidades del ambiente interior tomando en cuenta las variaciones diarias [89].

Este sistema toma como consideración principal la anchura del panel o estante, cualidad que le permite mayor o menor control de la luz exterior, como también se debe tomar en cuenta datos como altura, ángulos y la reflexión de la luz en la repisa [90], cómo se ve en la Figura N° 41.



*Figura 41: SINAI de estantes de luz Cinéticos.* El estante con posición Horizontal, cuando se está bajo cielo despejado y con luz directa el estante se alarga; y bajo cielo nublado y con luz difusa, se achica. Y el Vertical, se abre o se cierra, como un libro, para mayor o menor insolation en un determinado momento durante todo el día.

*Fuente:* [89]

Estos primeros estudios realizados, arrojan que este sistema es más eficiente que los anteriores [89], Los estantes Horizontales ofrecen menos horas de sol que los Verticales, pero logra mayor tiempo de iluminación interior que los sistemas fijos, logrando mejores resultados de ahorro de energía [89], Sistema recientemente estudiado, a futuro los que estudian este sistema, propondrán uno automatizado.

#### ▪ Estantes de luz con Cristales Prismáticos

*Principios físicos:* refracción por Prisma

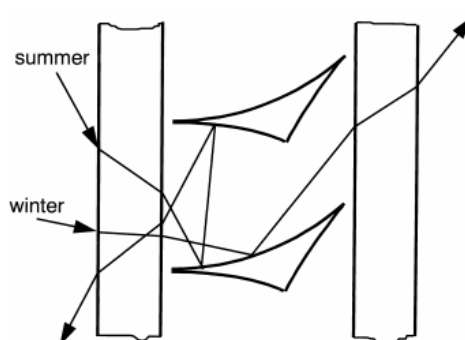
SINAI pasivo, diseñado para todo tipo de climas y bajo todo tipo de cielo [36]; principalmente para luz directa. Su función es distribuir la luz al interior del edificio.

Los prismas se utilizan para variar la dirección de los rayos de luz [50]. Es un sistema fijo, que redirecciona la luz y distribuirlo dentro de un ambiente interior. La luz directa es controlada por la refracción [7]; lo que permite una distribución lumínica homogénea en todo el ambiente, pero reduce el nivel lumínico en ciertas horas [97] y generando un confort térmico durante todo el año [35]. Sin

embargo, para lograr ello es necesario el cálculo geométrico a partir de estudios específicos de una zona y clima determinados [7, 96]. También utilizados en ventanas laterales como cenitales [98].

Este sistema se integra al edificio instalando cristales prismáticos a los paneles o estantes del sistema, también creando paneles “sandwich”, que son paneles dobles, situándose al medio los cristales prismáticos [97]. Partiendo de la definición física que da Tipler [50] sobre el prisma; son rayos refractores que desvían los rayos del sol de acuerdo a un ángulo determinado por la geometría del prisma (dictado por el tipo de triángulo utilizado). Son ángulos con dirección exacta que transmiten, refractan y reflejan los rayos de luz [99]; actuando como espejos cuyo haz de luz se refleja entre sí, de tal forma que se logra re-direccionar la luz que pasa por el prisma a la conveniencia o necesidad del ambiente de acuerdo en torno a la posición del sol en una estación específica [97].

Este sistema es bastante estudiado por su versatilidad; ya que permite, de acuerdo a la geometría del triángulo utilizado poder definir qué tipo de prisma se adecua de acuerdo a la posición del sol durante el día y todo el año [35]. Por ejemplo, el estudio de realiza W. LORENZ [97], utiliza prismas en base al triángulo isósceles y la reflexión especular dentro del espacio intermedio de dos paneles que actúan como espejos. La intención de este sistema es lograr que el haz de luz reflejado sobre el primer panel reflectante cambie de dirección al refractarse en el prisma, de tal forma que, de acuerdo a una estación específica del año, este rayo ingrese al ambiente reflejándose en el techo (invierno) o se evite su ingreso logrando redirigir la luz directa de nuevo hacia el exterior [97]; ingresando sólo la luz difusa, como se ve en la Figura N° 42, generando así una distribución lumínica uniforme en todo el ambiente sin deslumbramientos ni sombras molestas.



*Figura 42: SINAI de Estantes de Luz con Cristales Prismáticos, los rayos solares en verano y en invierno atraviesan el prisma ubicado dentro de los paneles especulares, cambiando la dirección de los rayos, permitiendo su ingreso o no al ambiente interior Fuente [97]*

De acuerdo al modelo geométrico, a la inclinación y otros elementos del sistema, puede generar que las interferencias en las visuales exteriores, cortando las imágenes ya que los paneles o estantes están ubicados en toda la ventana [97]; y al no tener elementos que ayuden a re-direccionar la luz hacia una zona exacta, en ciertas ocasiones no llega a iluminar uniformemente los espacios profundos [35]. Para evitar estos problemas, se ha estudiado otro tipo de sistema cuyos paneles prismáticos están instalados en la parte superior y exterior de la ventana, a modo de sombrilla, de tal forma que genere sombra sobre la ventana; y tiene otro panel reflectante adosado a la parte inferior e interior de la ventana (Figura N°43), de tal forma que se obtenga la misma función que el modelo anterior, pero brindando la opción de permiten visuales completas del exterior [98].

Uno de sus inconvenientes es que comprometen la dispersión del color, por lo que necesitan algún tipo de película adherida a la pantalla para que evite este fenómeno generado por su fenómeno óptico [23]. En cuanto a su integración con el edificio, este sistema es adaptable a las fachadas exteriores como también ser parte de la estructura de las ventanas. Presenta muchas variaciones; y el “cristal o vidrio prismático” puede ser utilizado en diferentes sistemas, como por ejemplo las persianas de luz [96] o en sistemas de transporte de luz a zonas de mayor profundidad. Existiendo patentes ya comercializadas en el mercado [36].

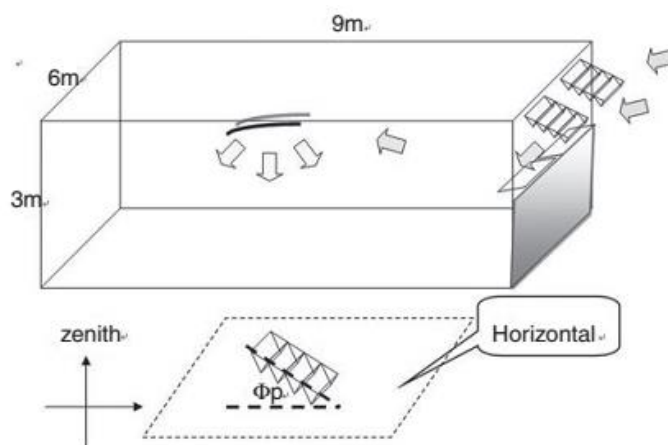


Figura 43: SINAI de Estantes de Luz con Cristales Prismáticos, el cual está instalado en la parte superior de la ventana, hacia el exterior. Generando sombra y permitiendo visuales. Fuente: [98]

### 7.2.1.2. SINAI tipo Persianas y Lamas de Luz

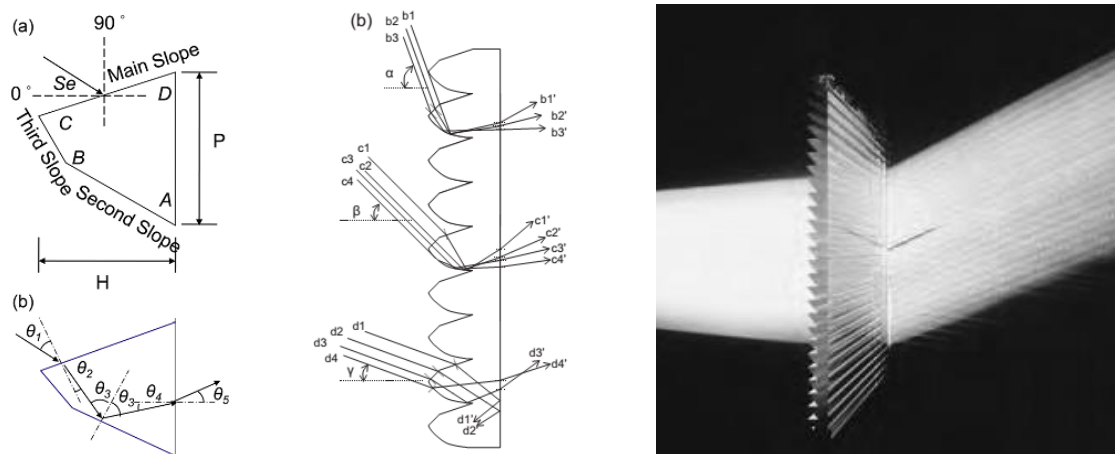
**Característica:** Múltiples paneles de ancho mínimo, ubicados o instalados en toda la ventana, sea de forma horizontal o vertical; y presentan diferentes tipos de fenómenos físicos de acuerdo al material de lamas y la función que cumplen.

### ▪ Persianas de Luz con Micro-Cristales Prismáticos

*Principios físicos:* reflexión, refracción por Prisma,

SINAI pasivo, diseñado para todo tipo de climas [36], pero otros autores indican que tiene mayor eficiencia en climas templados [23], en cielo despejado o nublado y bajo luz directa y difusa [23]. Su función es distribuir y re-direccionar la luz al interior del ambiente de un edificio.

Tal como se ha visto en el sistema de Cristales Prismáticos, este sistema fijo, cumple la función de re-direccionar la luz y distribuirlo dentro de un ambiente interior. La diferencia es el tipo de aplicación, para este caso, los cristales prismáticos están adosados a las persianas de luz, por lo tanto, estos prismas son más pequeños [A75]. Se trata de una Microestructura prismática fija, acoplada con una película delgada de plata capaz de bloquear el espectro infrarrojo de la luz solar que dispersa los rayos que luego serán reflejados en el techo blanco de la habitación y disminuyendo la carga termina en el edificio [96]. Llamada también “nanoestructura anti-reflexión” [96] (Figura N° 44).

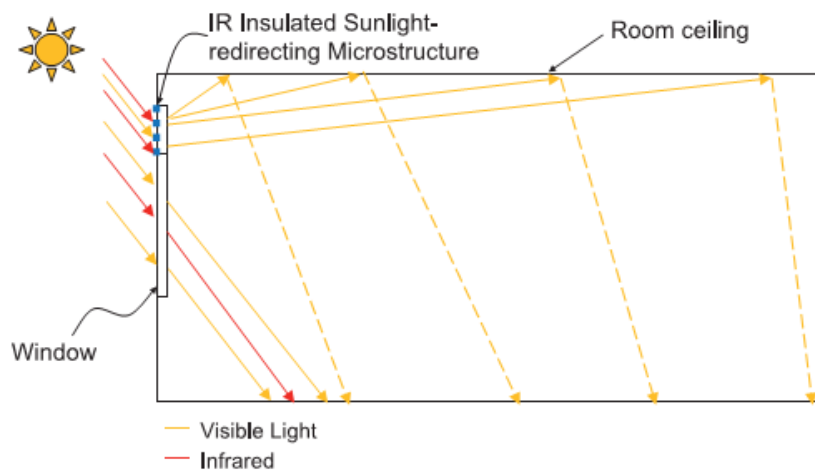


*Figura 44: Micro-prismas y los ángulos geoméricamente calculados. Izquierda: Micro-prisma con la película de plata adosada permite la variación directa del rayo. Fuente: [96]. Centro: las diferentes incidencias de los rayos solares. Fuente: [96]. Derecha: Visualización en corte transversal de la redirección de la luz alcanzado por el panel. Fuente: [23]*

Es decir, el Micro- cristal prismático por sí sólo, cumple las funciones de colectar, re-direccionar y distribuir la luz directa del exterior, convirtiéndola en luz difusa. Actuando también como elemento reflectante, a diferencia del sistema anterior. Otra ventaja de este sistema, es que, al no depender este material de ningún otro elemento, se puede lograr que cada lama horizontal que contiene un Micro-prisma pueda tener una inclinación diferente [96], de tal forma que el rayo reflejado al techo del

ambiente interior choque a diferentes profundidades del ambiente, logrando iluminar de forma uniforme y además de forma continua el ambiente, como se observa en la Figura N° 45.

Al estar instalado en la parte superior de la ventana, no corta las visuales exteriores, crea un control de sombra necesario y posibilita el ingreso de luz directa necesario al ambiente de tal forma que el nivel lumínico (lux) del ambiente sea el óptimo. En cuanto a la integración con el edificio, la instalación se realiza como parte de la estructura de la ventana o hacia el exterior de la fachada [23]. En cuanto a sus costos, varían de acuerdo a la calidad del prisma.



*Figura 45: SINAI de Persiana de luz con Micro-cristales prismáticos. Los rayos de sol al chocar directamente con el Micro-prisma cambian su dirección de acuerdo a la inclinación de cada persiana. Fuente: [96].*

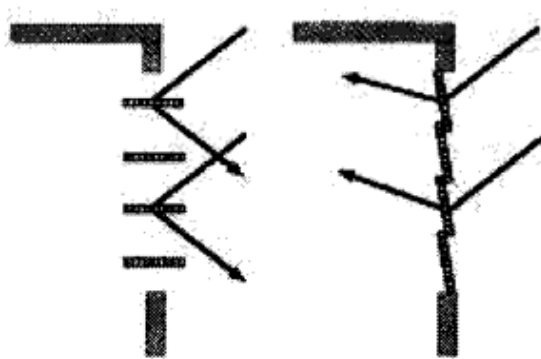
#### ▪ **Persianas de Luz de Pantalla cortada con Láser (PCL)**

*Principios físicos:* refracción por haz de luz, reflexión

SINAI pasivo, diseñado para todo tipo de climas [36]. Su función es distribuir y re-direccionar la luz al interior del edificio.

Las persianas de luz de PCL cumplen la misma función que las PCL aplicadas a la Propia Ventana (Ítem 5.2.1.4), la diferencia radica en que estas pantallas hacen de lamas en las persianas de luz [23], modificando la dirección de los rayos de luz de acuerdo a la inclinación de las lamas, sea de forma individual o toda la pantalla. En la Figura N° 46, se muestra como las lamas actúan de acuerdo a las condiciones climáticas durante el día; abriéndose o cerrándose en torno al eje horizontal de la ventana [23], de tal forma que, en zonas cálidas, pueda generar ventilación abriendo sus lamas; así como poder actuar de acuerdo a la estación del año y durante el día.





*Figura 46: SINAI de persiana de luz con paneles cortados con láser.* Persiana veneciana; los paneles cortados con láser se pueden ajustar a la cualquier inclinación, de acuerdo a la estación del año. En verano, se cierran para rechazar la luz, y en invierno se abren para admitir luz. *Fuente:* [23]

### 7.2.1.3. SINAI aplicados en la propia ventana

*Característica:* Son aquellas laminas o pantallas que se instalan o se adhieren directamente a la ventana; como aquellos colocados entre dos paneles translucidos, sean laminas o cualquier otro material. Para ambos casos, no necesitan de ninguna estructura fuera de la contempla la ventana y su marco; por consiguiente, no hay elementos exteriores que ejerzan control de algún tipo.

- **Pantalla cortada con Láser (PCL)**

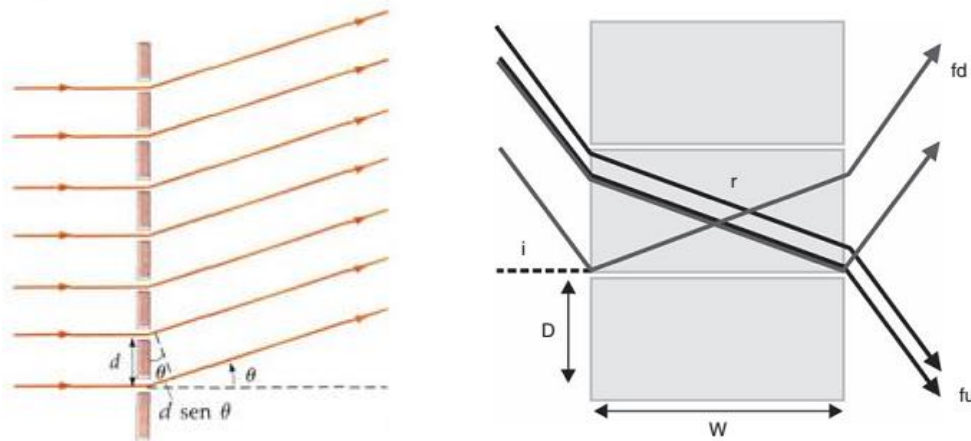
*Principios físicos:* refracción por haz de luz

SINAI pasivo, diseñado para todo tipo de climas [36], tiene un buen comportamiento térmico, trabaja con luz difusa y directa y bajo cualquier tipo de clima [101]. Su función es distribuir y re-direccionar la luz hacia el interior del ambiente de un edificio.

La propagación de luz por refracción de haz de luz, es una red que consiste en un gran número de rayas o rendijas igualmente espaciadas y marcadas o grabadas sobre una superficie plana [50]. Este sistema funciona principalmente re-direccionando y distribuyendo la luz solar dentro de todo el ambiente. La luz se desvía a cada elemento del panel de vidrio laminado o recubierto con acrílico por refracción, después, por la reflexión que ocurre internamente se difracta de nuevo saliendo o proyectando los rayos directamente al interior o parte céntrica del ambiente [23].

Esto hace que tenga un buen comportamiento térmico y una buena distribución de la luz, creando iluminación natural en las zonas donde se realizan las actividades, por lo tanto, tiene un buen nivel lumínico [102] (porque no se reduce al chocar primero con el techo).

Este sistema consta de un panel delgado dividido a través de cortes de láser en una matriz de elementos rectangulares, cada superficie cortada se convierte en un pequeño espejo interno que desvía la luz que pasa a través de este panel [23]. Normalmente, estos cortes se hacen en un ángulo perpendicular a la superficie, pero es posible hacer los cortes en un ángulo de ingreso diferente al ángulo de salida, para un mayor control en relación a la dirección de la luz y la iluminación en el ambiente. [101], como se ve en la Figura N°47.



**Figura 47: SINAI de persiana de luz con paneles cortados con láser.** Izquierda: La luz en la misma dirección que incide normalmente sobre una red de difracción, para un ángulo  $\theta$ , la diferencia de caminos entre rayos procedentes de redijas adyacentes es  $d \sin \theta$ . Fuente: [50]. Derecha: Como se observa, el haz de luz ingresa con un ángulo  $\theta$  y sale con un ángulo  $\beta$ , cambiando de dirección hasta la salida del mismo. Fuente: [101]



**Figura 48: SINAI de persiana de luz con paneles cortados con láser.** Vista de una placa de acrílico,  $W=6\text{mm}$ ,  $D=4\text{mm}$ , y en total el módulo rectangular es de  $10\text{mm}$ . Fuente: [A78]

Como se observa en la Figura N° 48, al ser el corte tan delicado sobre la pantalla de acrílico no perturba la visibilidad exterior y puede ser utilizado en ventanas laterales como cenitales. En cuanto a la integración con el edificio, este sistema al ser parte de la venta, no genera molestias de instalación por lo que resulta ser un sistema más barato (a pesar del costo de la pantalla) y sin perturbar la arquitectura del edificio.

Para las PCL, el ahorro energético depende de su tipo de aplicación. Los PCL fijos en la parte superior de la ventana generan un ahorro de energía entre el 10% al 30% dependiendo de las condiciones del cielo; en cambio las PCL en la propia ventana, el ahorro energético es menor porque no se puede controlar los cambios [23].

#### ▪ **Pantallas Holográficas (PH)**

*Principios físicos:* difracción por Hologramas

SINAI pasivo, diseñado para todo tipo de climas [36], bajo luz difusa. Su función es distribuir la luz al interior del edificio.

Las PH permiten un re-direccionamiento de la luz natural y una distribución homogénea de la luz natural. Se producen en films, que son laminados entre dos paneles de vidrio; fenómeno físico de difracción, siendo la luz manipulada de diferentes formas [105]. Sistema de protección transparente, direccional y selectivo que rechaza algunas ondas de luz; de este modo el sistema puede redirigir o reflejar el haz de luz incidente dejando pasar la luz difusa al interior del ambiente, y rechazando la luz directa [104], lo que permite reducir las ganancias de calor.

Los PH permiten la visibilidad exterior y el sombreado al interior del ambiente, sin embargo, se debe tener especial cuidado con el deslumbramiento y la dispersión del color cuando choca con luz directa [104], arco-iris creados por múltiples reflejos que reproduciendo separaciones, como se observa en la Figura N° 49. Por lo que debe colocarse en zonas donde se tenga ingreso de luz indirecta [23] o bajo zonas con mayor porcentaje de cielo nublado.



*Figura 49: SINAI con Paneles Holográficos. Izquierda: ventana con control de sombras y deslumbramientos al adherir un film holográfico en la parte superior de la ventana. Fuente: [23] Derecha: prueba de un panel vidriado holográfico y la dispersión de colores que ocasiona. Fuente: [105]*

A diferencia de los Cristales Primaticos, este sistema no necesita de ninguna lama o estante de luz para ser colocado, ya que va adherido a cualquiera de los paneles vidriados de la ventana, sean laterales o cenitales [23], y al difractar la luz origina que los haces de luz lleguen a zonas más profundas, porque los rayos de luz tienen más amplitud de re-direccionamiento [35] por no ser angulares.

Estas pantallas holográficas permiten una gran variedad de aplicaciones en arquitectura, tanto para la utilización de energía solar, la optimización en un ambiente y efecto de diseño arquitectónico con luz solar y la utilización de efectos de color. En cuanto a su integración con el edificio, no existe mayor problema porque van adheridas a las ventanas y por consiguiente no causan ninguna modificación formal del edificio. No necesitan mantenimiento, sólo que los paneles vidriados estén limpios [23], pero la lámina de holograma es uno de los más caros en el mercado [A94].

#### ▪ Ventanas acristaladas con Aerogel de Silicio

*Principios físicos:* polarización por absorción

SINAI pasivo, diseñado para cualquier tipo de clima [92], bajo cielo despejado [94]. Su función es distribuir la luz al interior de un ambiente.

El Aerogel de Silicio es un material poroso que creado por Kistler en 1931, tiene una alta porosidad (más del 98%) y su tamaño entre cavidad y cavidad es muy pequeña, lo que hace que la conductividad

térmica del Aerogel sea aún más pequeña que el gas que contiene [92], por lo cual lo utilizan aislante térmico.

Se ha estudiado sobre sus propiedades de aislamiento térmico, sin embargo, recién se inicia los estudios sobre sus cualidades para la conservación de energía y como barreras para evitar deslumbramientos y sombras molestas al interior del ambiente. Funciona bajo cualquier tipo de clima [92], sin embargo, los estudiados han sido realizados sólo climas cálidos, con cielo despejado y bajo luz directa [94]. El inconveniente que presenta el sistema es la pérdida de las visuales exteriores porque el Aerogel abarca toda la ventana y la hace difusa. Este sistema consiste en un acristalamiento tipo “sándwich”, las capas de vidrio transparente de 6mm, encierran al polvo de Aerogel de silicio; que va enmarcado con un sello de aluminio y polietileno presionado [91]; en la Figura N° 50 se muestra en sección un bosquejo del sistema. Este sistema es fijo (porque es parte de la composición de las ventanas) y ofrece larga duración, no absorbe al agua.

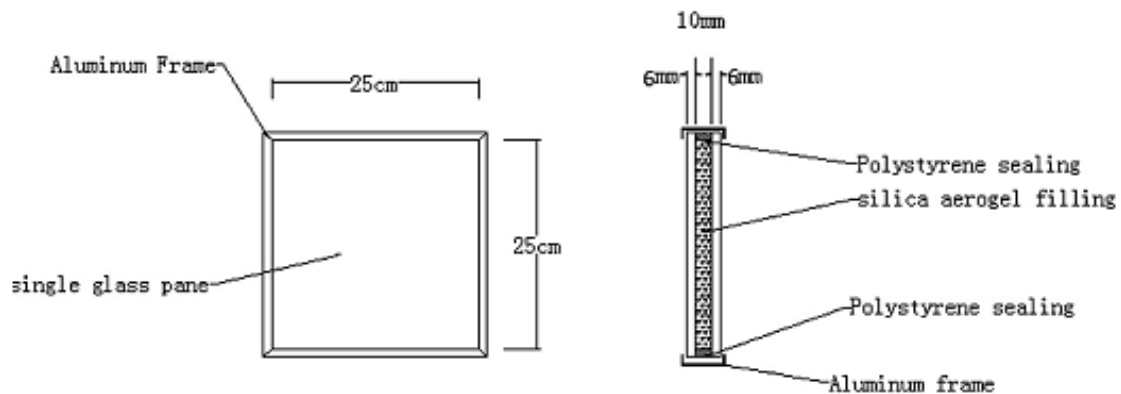


Figura 50. Dibujo en elevación y corte del SINAI Acristalamiento con Aero-gel de Silicio. Fuente: [91]

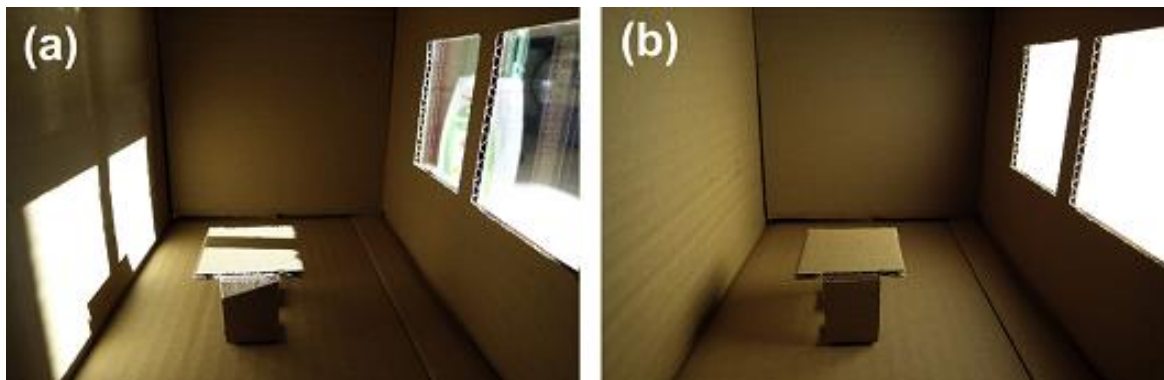


Figura 51: Ambiente con acristalamiento translucido sin sistema de control alguno. Derecha: ambiente con Acristalamiento con Aero-gel de Silicio Fuente: [93]

Este sistema por sus características térmicas, origina un ahorro energético hasta un 8% [91] porque minimiza la utilización de sistemas de aire acondicionado en climas cálidos; también mantiene constantes las temperaturas interiores del ambiente [92]. En la Figura N° 51, se observa como la luz que penetra a través de la ventana es menos intensa y más uniforme, ofreciendo un entorno visual agradable, pero debe tener cuidado para mantener el nivel lumínico por encima del límite el nivel lumínico, porque este sistema absorbe la luz [93, 91] como se ve en la Figura N° 52; y elimina el brillo excesivo en el acristalamiento. Para lo cual, se debe tomar en cuenta tres componentes importantes: la luz directa, la disponibilidad de luz durante todo el año y el nivel térmico necesario para la penetración de calor solar [95], lo que garantiza un funcionamiento eficaz del sistema.



*Figura 52: Izquierda: Módulo de ventana con Acristalamiento con Aero-gel de Silicio. Fuente: [91]*

Algunos estudios sugieren utilizarlo de pared a pared y de suelo a techo para mayor eficiencia del sistema, con la capacidad de utilizarlo en aquellas fachadas vidriadas [95]. Este sistema, actualmente sigue en investigación; incluyendo incluso como una sus cualidades la limpieza del aire y como colector solar de aire; utilizando una delgada cubierta de Aerogel sobre el acristalamiento [94].

A nivel de integración al edificio, no presente inconveniente alguno para ser instalado como parte de las ventanas, pero, al ser un material nuevo y en estudio resulta cara su instalación.

#### **7.2.1.4. SINAI en Claraboyas o huecos cenitales**

*Característica:* Paneles translúcidos instalados como parte de la cubierta de un hueco cenital, de forma horizontal o inclinados. Presentan diferentes tipos de fenómenos físicos de acuerdo a la función que cumplen.

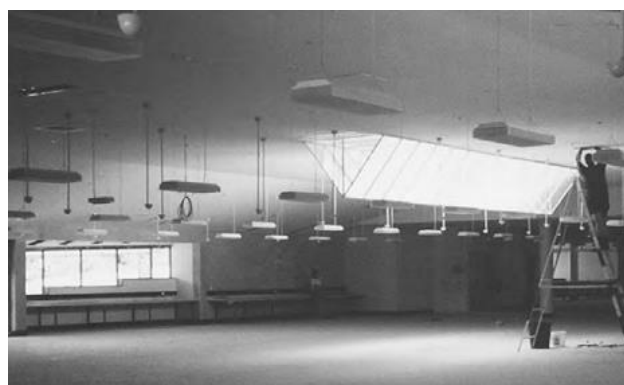
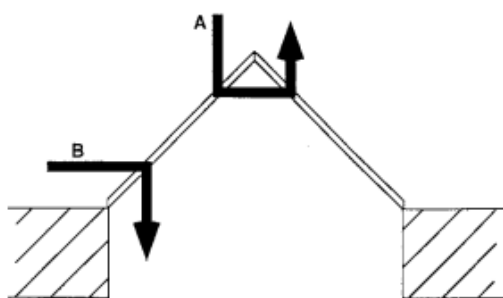
### ▪ Claraboya Angular de Pantallas Cortadas con Láser (PCL)

*Principios físicos:* refracción por haz de luz, reflexión.

SINAI pasivo, diseñado para todo tipo de climas cálidos, cielo despejado, bajo luz directa y bajas latitudes [36], no siendo aconsejable el uso en zonas donde se tenga un mayor porcentaje de cielo nublado porque este sistema actúa en base a ángulos calculados específicamente para el desvío unos y el ingreso de otros en el zenit [23]. Funciona re-direccionando y distribuyendo la luz al interior del ambiente.

Sistema de las mismas características del SINAI de Persiana de luz con PCL; pero con la diferencia de que las pantallas configuran una pirámide actuando como claraboya, ubicada en las aberturas cenitales del edificio.

La claraboya angular incorpora una pirámide o configuración triangular con pantallas de doble acristalamiento con láminas cortadas con Láser, que proporcionan una transmisión selectiva de rayos de luz [23] (Figura N°53). Según el modelo diseñado por Edmonds [103], los paneles son de acrílico de 6mm de espesor, los cortes están espaciados cada 4mm y los ángulos de inclinación útiles según su cálculo, para un clima cálido, están entre 45° y 55° donde la radiación solar es muy fuerte. Es por ello que la forma prismática del sistema está ideada para evitar los rayos altos, e ingresar los rayos más bajos, de tal forma que al salir de la pirámide a través de los paneles cortados con láser la luz se refleje con nivel lumínico agradable, mejor distribuido y con iluminación constante durante todo el día [23] (luz continua). En cuanto a la integración con el edificio, por estar instalada en la cubierta o terraza del edificio no repercute en la arquitectura a nivel de fachada del edificio.



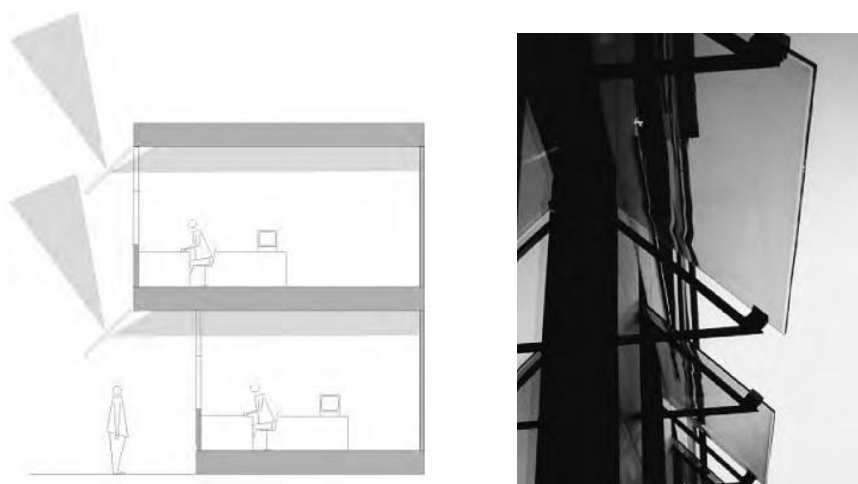
*Figura 53: SINAI Claraboya Angular de Panel cortado con Láser. Izquierda: la luz alta es rechazada y la luz baja es desviada hacia el interior. Derecha: se observa el sistema instalado en forma de “V” en el techo del edificio, la luz directa es desviado hacia el techo y por consiguiente la luz que ingresa es más uniforme. Fuente: [23]*

### ▪ Paneles Cenitales con Pantallas Holográficas Mejorados (PHM)

*Principios físicos:* difracción por hologramas

SINAI pasivo, diseñado para climas templados, bajo cielo despejado [23] y nublado [36]. Funciona re-direccionando y distribuyendo la luz natural al interior del ambiente.

A diferencia de las PH, este sistema evita la dispersión del color ya que está diseñado para ser utilizado para recibir luz cenital. Se trata de un film polimérico con redes de difracción holográficas, que se lamina entre dos paneles de vidrio [23], obteniendo mejor rendimiento tanto bajo cielo despejado como nublado. Como se ve en la Figura N°54, para el funcionamiento de este sistema, es necesario la instalación de estructuras externas a la ventana que puedan soportar los PHM y colocarnos en un ángulo 45° para que la luz se re-direccione hacia la parte superior del ambiente [23]. Al igual que los PH ya vistos, estos tienen la ventaja de propagar la luz a mayores profundidades de forma uniforme [35].



*Figura 54: SINAI de Iluminación Cenital con PHM. Izquierda: vista en perfil de la proyección y distribución de luz hacia el fondo del ambiente. Derecha: vista de las estructuras y paneles instalados en un edificio. Fuente: [23]*

## 7.2.2. SINAI de Medio Alcance

### 7.2.2.1. SINAI Concentradores de Luz instalados en las Fachadas

*Característica:* Paneles translucidos instalados como parte de la fachada o sobre la ventana exterior de un edificio. Presentan diferentes tipos de fenómenos físicos de acuerdo a la función que cumplen, iluminando ambientes de diferentes plantas, a más 10 m de profundidad.

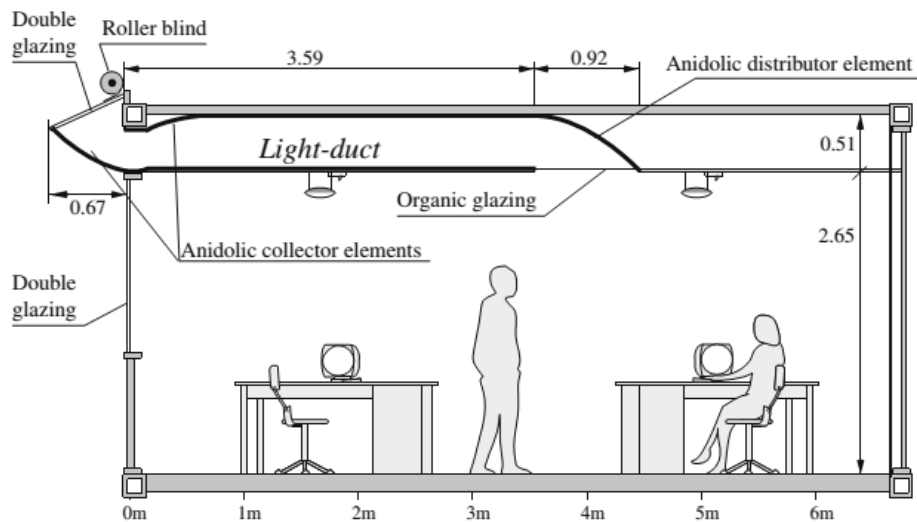


- **Concentrador Anidólico instalado en la pared**

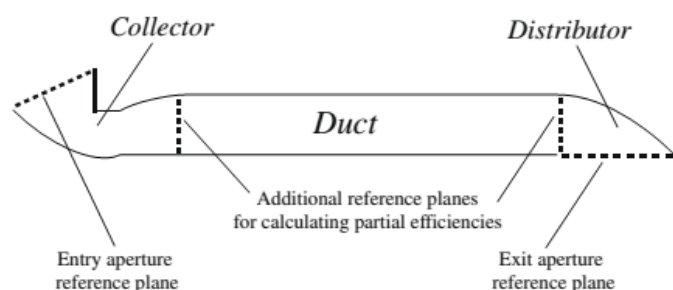
*Principios físicos:* reflexión especular

SINAI activo, diseñado para climas templados, cielos nublados y con mayor porcentaje de luz difusa [36]. Su función es concentrar, transportar, re-direccionar y emitir la luz al interior de los ambientes interiores.

Consiste en un concentrador parabólico instalado en la parte superior de la ventana exterior no expuesta del edificio [35], donde no ingrese la luz directamente. Este dispositivo parabólico contiene una pantalla de cristal que captura la luz difusa de la bóveda celeste, al ingresar por esta pantalla los rayos de luz pegan con el concentrador Anidólico que re-direcciona la luz hacia un punto específico [106], introduciendo los rayos de luz de manera eficiente a un conducto que por reflexión transporta la luz al interior del ambiente, iluminando de forma homogénea el ambiente [107]. Esta abertura de salida del conducto, es también un reflector parabólico que distribuye la luz hacia abajo, evitando que se produzca algún tipo de brillo en el dispositivo [7], que se produce cuando algunos rayos reflejan nuevamente en dirección contraria quedándose en el conducto, tal como se ve en la Figura N°55. También, cuando se tiene días soleados y con luz directa, el sistema prevé una persiana mecánica enrollable, que se puede ser automática o no, y que se coloca sobre la pantalla vidriada [23], para evitar excesiva incidencia de luz, ya que el sistema está construido con material muy reflectante como es el aluminio [35].



*Figura 55: SINAI Concentrador Anidólico para Techo.* La luz natural difusa entra y pega en el colector Anidólico; a partir de allí se re-direcciona hacia el conducto de luz y sale por otro elemento parabólico hacia el interior del ambiente. *Fuente:* [A82]



*Figura 56: SINAI Concentrador Anidólico para Techo. Izquierda: Elementos del sistema. Fuente: [97]  
Derecha: Imagen de la instalación en una vivienda unifamiliar. Fuente: [A81]*

Este sistema comprende tres elementos importantes (Figura N°56): A. un concentrador solar Anidólico por donde la luz es captada, B. un ducto horizontal por el que se transporta la luz y C. un distribuidor de luz que emite la luz al interior del ambiente [104]. Este sistema aporta mayor iluminación a los ambientes interiores, especialmente en las zonas más profundas ya que el ducto puede ser ampliado y colocado en la ubicación que uno desee, de 5m hasta 9m de distancia dependiendo de los dispositivos adicionales en el sistema básico Anidólico [37], transportando luz a ambientes contiguos a la ventana externa.

El inconveniente de este sistema es su integración, porque conlleva modificaciones y adiciones tanto al exterior como al interior del edificio, ya que necesita que la habitación tenga mayor altura [106], de tal forma que no altere o reduzca el área de las ventanas y permita las visuales exteriores. Estos sistemas son los más conocidos y los que más se han aplicado [23]. Existiendo combinaciones de este sistema con otros, como las Persianas de luz y concentrador Anidólico [108], de tal forma que al contener un sistema de control de sombra exterior en las ventanas; puede ser utilizado en climas donde las condiciones climáticas son muy diferenciadas [108]. Un ejemplo de estas combinaciones son los llamados Sistemas Anidólicos Integrados [35], que incluye micro-lamas para el sombreado que ayuda a reducir los problemas de deslumbramiento, como se observa en la Figura N° 57.

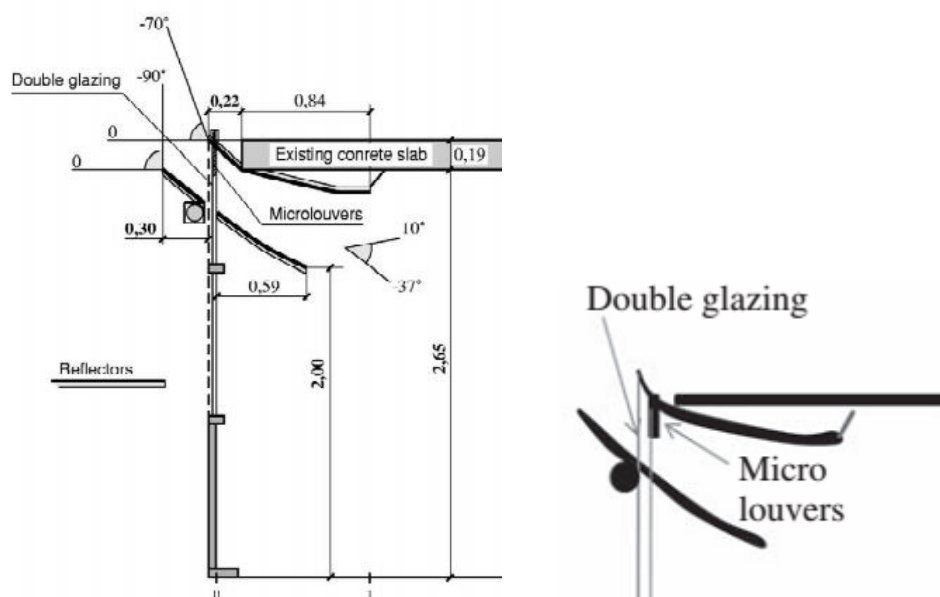


Figura 57: Izquierda: Sistema Anidólico con persiana de luz, para protección lateral de la ventana y el ingreso de luz a través de la parabólica. Fuente: [108] Derecha: Sistema Anidólico con micro-lamas, instalado en el extremo vertical de ingreso de luz de la parabólica. Fuente: [23]

#### 7.2.2.2. SINAI Concentrador instalado en las Claraboyas o Huecos Cenitales

**Característica:** Paneles translucidos instalados como parte de la cubierta de un hueco cenital, de forma horizontal o inclinados. Presentan diferentes tipos de fenómenos físicos de acuerdo a la función que cumplen, iluminando ambientes de diferentes plantas, a más 10 m de profundidad.

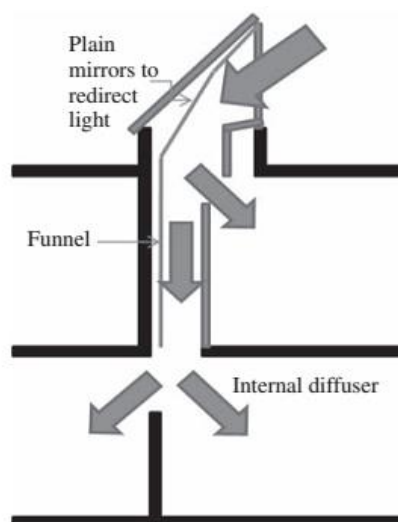
- **Concentrador Anidólico Cenital**

**Principios físicos:** reflexión especular

SINAI activo, diseñado para climas templados, cielos nublados y despejados; y bajo luz difusa y directa [23]. Su función es concentrar, transportar, re-direccionar y emitir la luz al interior de los ambientes interiores.

Consiste en un concentrador parabólico instalado en la cubierta del edificio sobre la abertura cenital, ofreciendo ingreso exterior de luz de forma directa [23]. Tiene la misma función que el Concentrador Anidólico anteriormente visto; y es utilizado mayormente para proporcionar luz a los edificios de gran altura de un solo piso, atrios, etc; evitando reflexiones o deslumbramientos al interior del ambiente.

El concentrador se compone de tres espejos de superficie plana ubicados en diferentes ángulos de inclinación, de tal forma que la luz es redirigida hacia un conducto vertical, la luz difusa es transportada por este conducto en dirección paralela al eje del mismo para evitar que la luz difusa de refleje, finalmente la luz se re direcciona de nuevo para ser distribuida a los ambientes interiores [35], Figura N° 58.



*Figura 58: SINAI Concentrador Anidólico Cenital.* Se observa la circulación de la luz al interior del sistema, captado a través de una superficie directa de captación de luz difusa. *Fuente:* [35]

En cuanto a su integración con el edificio, la ventaja que ofrece el sistema, es que, al estar instalado en la cubierta del edificio, ofrece mayores posibilidades de captar luz solar durante todo el día porque las obstrucciones con mínimas. Sin embargo, al considerar un conducto o tubo vertical para transportar la luz, es necesario que el edificio tenga un ducto o patio de luz vertical donde pueda instalarse este sistema [104] y prever en el diseño del edificio [23]. Este sistema también es interesante de aplicar para aquellas habitaciones en un ultima plante del edificio, cuya cubierta es alta y cuya estructura impide el ingreso suficiente de luz cenital, construcciones antiguas [7], como se ve en la Figura N° 59. Así como en sistema de Concentrador Anidólico en fachadas, el dispositivo Anidólico ha sido estudiado y mejorado, aplicando una serie de elementos que ayuda a captar mayor luz solar. Puede actuar también como parte de la claraboya (Figura N° 58) o simplemente como un concentrador instalado en la cubierta o terraza del edificio (Figura N° 59).

Con sistema se logró iluminar verticalmente hasta 6.5m de profundidad, es decir, dos pisos, logrando una iluminación continua durante todo el día [23]. Sin embargo, la iluminación es localizada, en relación al ángulo de apertura del dispositivo de emisión [104]. también ha sido probado y está siendo estudiado para abastecer a grandes urbanizaciones [109].

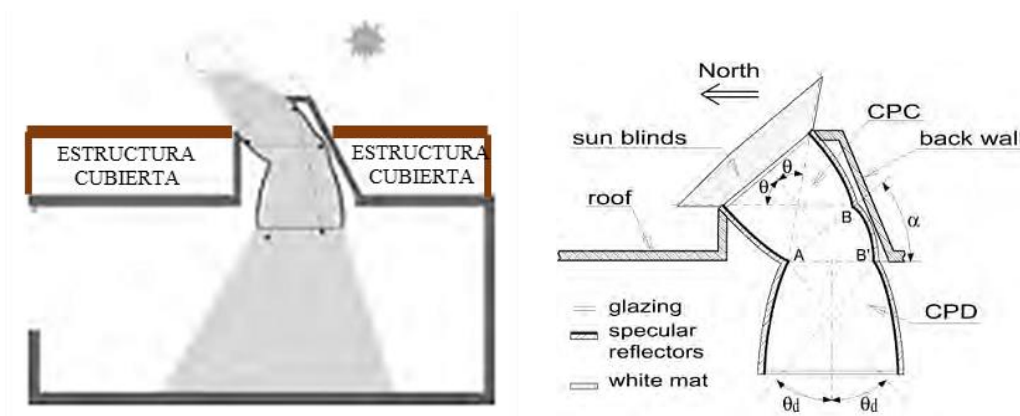


Figura 59: SINAI Concentrador Anidólico Cenital. Izquierda: Se observa el uso de sistema para cubiertas antiguas o de estructura que permita el ingreso de luz cenital difusa. Izquierda: Sistema Anidólico mejorado con lentes especulares y captadores parabólicos externos Fuente: [23]

### 7.2.3. SINAI de Largo Alcance

#### 7.2.3.1. SINAI por tipo de Concentrador

**Características:** Sistema propicio para transportar luz a zonas que no tiene contacto directo con el sol, transportando luz natural a diferentes plantas del edificio y distribuyendo la luz a los ambientes perimétricos a éste en cada planta [104], como se observa en la Figura N° 60. Funciona en todos los climas, en cielo despejado y nublado y bajo luz directa o difusa [36]. Sin embargo, los factores limitantes son la orientación, el ángulo de azimut del haz de luz de acuerdo a la zona donde se instala [7] y el área de entrada previsto del tubo para la caída de luz [51].

Tiene cuatro elementos importantes: *A*. Claraboya en forma de cúpula de policarbonato, que concentra la luz del sol, *B*. Un tubo, que transporta verticalmente la luz reflejando en sus superficies interiores, *C*. Un dispositivo extractor de luz de la red directa para transportarlo horizontalmente hacia los ambientes interiores y *D*. Dispositivo emisor, que ilumina el ambiente, algo así como un punto de luz [113], como se observa en la Figura N° 61.

Para que el tubo tenga un comportamiento reflectante, el revestimiento interior debe ser de una película de plástico recubierto de plata, pulido o de aluminio [35]. Existen varios tipos de Sistema de Tubos de Luz, variando desde el tipo de sistema

de colección o concentrador de luz a utilizar, hasta la forma de emisión de luz al interior del ambiente; algunos incluso pueden ser utilizados como un sistema integrado entre la luz y la ventilación [104].

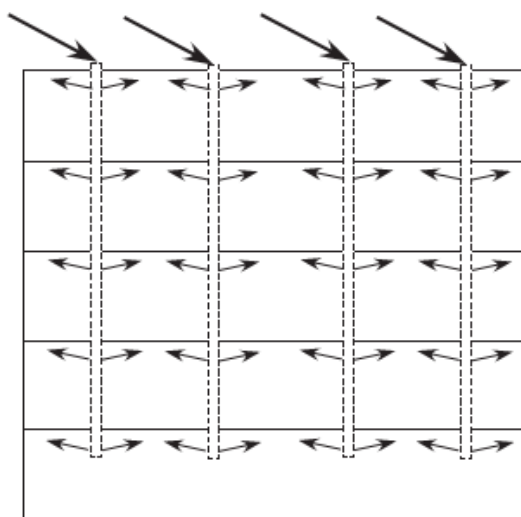


Figura 60: SINAI de Tubos de Luz. Bosquejo básico del sistema para entregar la luz natural a través de los tubos de luz a un edificio de cinco niveles. Fuente: [51]

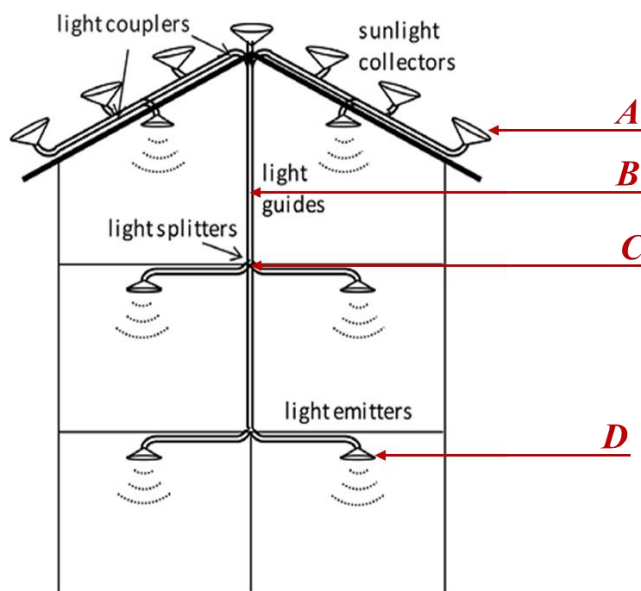


Figura 61: Elementos de los SINAI de Tubos de Luz. Bosquejo básico de los elementos que compone el sistema en un edificio residencial. Fuente: [113]

- **SINAI de Tubo de Luz por el tipo de Concentrador** (transporte Vertical)

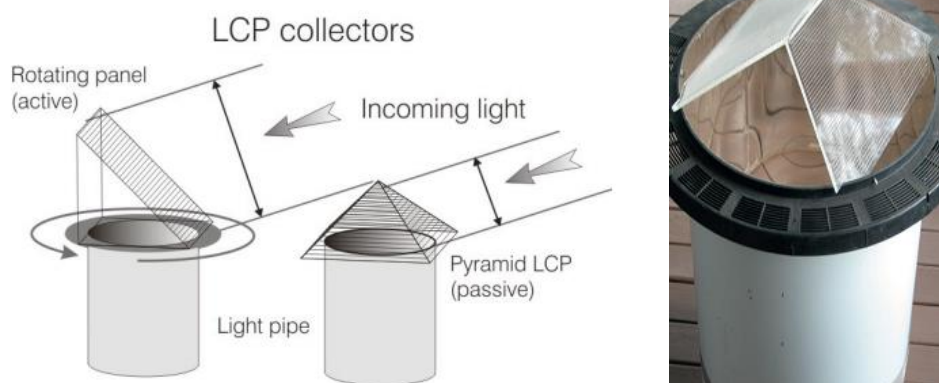
*Característica:* Un colector para transporte de luz mediante un tubo vertical tiene dos condiciones: A. Tener un área proyectada de incidencia de luz más grande que la abertura del tubo de luz, para concentrar más luz, B. Reflejar una fracción significativa de luz concentrada de forma directa o paralela al tubo para reducir la pérdida de luz en la tubería [51]. La diferencia con los sistemas Anidólico, es que éstos captan luz alta de la bóveda azul, en cambio estos concentradores captan la luz baja.

✓ **Concentrador de luz con PCL**

*Principios físicos:* refracción (concentrador), reflexión especular (tubo de luz).

SINAI pasivo. Diseñado para todo tipo de climas, bajo cielo despejado [51]. Su función es concentrar, re-direccionar y transportar la luz al interior del edificio.

Son paneles con PCL (pantallas cortadas con láser) que forman una pirámide sobre el tubo de luz [51], siendo el inconveniente de estos la forma de adaptarse al tubo de luz que es de sección circular. La luz que llega al concentrador se desvía en un elemento prismático por refracción y reflexión total interna, de tal forma que la luz difusa ingresa y la directa se devuelve al exterior [111], ver Figura N° 62. El segundo paso es dirigir la luz que ingresa de forma paralela al tubo vertical de luz para conservar el nivel de iluminación inicial hasta su punto de emisión.



*Figura 62: SINAI de Tubos de Luz con concentrador con LCP. Izquierda: ubicación de paneles de LCP en forma piramidal. Derecha: Modelo a escala de la instalación del concentrador en el tubo de luz. Fuente: [111]*

El diámetro del tubo de luz es de 40 cm para una residencia [111], y se puede transportar luz hasta 12 m, iluminado unos 25m<sup>2</sup> aproximadamente [51]. Para evitar el resplandor de la luz al interior del ambiente, este es captado en cada nivel por un elemento emisor de luz cónico que refleja la luz hacia el techo; y ubicado sobre una pantalla circular que evita el exceso de brillo al interior del ambiente (Figura N° 63). Este sistema también contiene sensores automáticos para que el concentrador de luz se mueva de acuerdo a al movimiento solar. Para la integración del sistema al edificio es necesario realizar aperturas de huecos en el techo, lo mismo en la cubierta o terraza; este sistema es utilizado para iluminar directamente ambientes interiores [104], no a través de pozos o patios de luz pues la luz se dispersaría con facilidad.

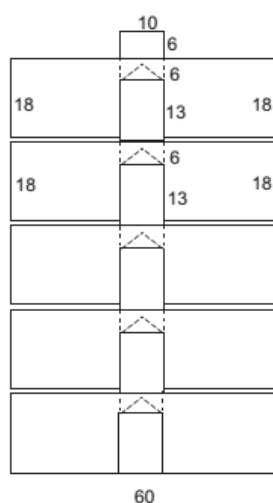


Figura 63: SINAI de Tubos de Luz con concentrador de LCP. Izquierda: corte en perfil del cono de aluminio que sirve como emisor de luz. Derecha: Vista interior que el ambiente iluminado con este sistema. Fuente: [111]

#### ✓ Concentrador de luz con Lentes de Fresnel (PF)

*Principios físicos:* difracción por Fresnel

SINAI activo, diseñado para todo tipo de climas, bajo cielo despejado [109], y cielo nublado [112]. Su función es concentrar la luz solar, para luego ser transportada al interior mediante otro dispositivo.

La luz de Fresnel permite la construcción de lentes de gran apertura y una corta distancia focal a partir de lentes muy pequeños [50], que puede ser de vidrio tallado o plástico [129]; funcionan de la misma forma que las parabólicas o espejos convencionales porque mantiene el mismo radio de curvatura [112]. Tiene bajo costo en comparación con otros concentradores [35]. En cuanto a su integración, no necesita



mayor espacio; ubicado en las cubiertas o terrazas del edificio; se debe procurar tener un perímetro considerable para evitar obstrucciones físicas [35] por edificios u otros elementos físicos.

Los lentes de Fresnel funcionan como focalizador de luz, porque concentran la luz en un solo punto; pero para poder llevar la luz mediante un tubo de luz o fibra óptica es necesario utilizar un “colimador”, cuya función es hacer que los rayos que salen del foco del concentrador se vuelvan paralelos al eje del tubo [129], de tal forma la luz al transportarse no pierda energía y se transporte en línea recta. Por lo que la idea de un lente de Fresnel es no formar una imagen de calidad, sino conseguir de forma barata y poco pesada un sistema “colimador - focalizador de luz.” [109].



*Figura 64: Concentrador de Luz con lentes de Fresnel. Izquierda: sistema “Himawari light collector”. Derecha: sistema “Parans light collector”. Fuente: [109]*

En el mercado, los más conocidos son dos: como el “Himawari” como se ve en la Figura N° 64, acumula y concentra la luz solar utilizando múltiples lentes de Fresnel y que mediante un sensor automático rastrea el movimiento del sol [109, 35]. Este concentrador tiene ofrece mayor captación de luz tanto directa como difusa y directa, por consiguiente, puede transportar la luz a distancias mayores; con fibra óptica hasta 40 m [112]. Así mismo el concentrador “Parans” (Figura N° 64) que consiste en una matriz de pequeños lentes de Fresnel que hace las veces de panel fotovoltaico [99], es decir, concentran luz y funcionan como colectores de energía solar. Al igual que el sistema “Himawari”, lleva un sensor automático que rastrea el movimiento del sol.

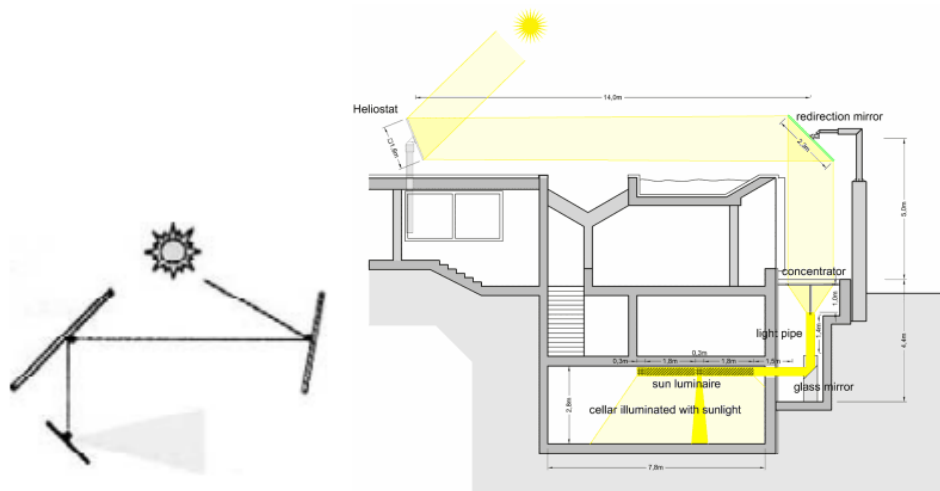
#### ✓ **Concentrador de Luz con Espejos Parabólicos**

*Principios físicos:* reflexión, y de acuerdo al tipo de colector puede ser difracción por fresnel o reflexión especular.

SINAI activo, diseñado para climas cálidos, bajo cielo despejado. Este sistema utiliza generalmente dos o tres espejos parabólicos de superficie cóncava. El primer espejo se ubica en una zona cercana o lejana de la posición del edificio, de tal forma que reciba luz directa y pueda reflejar los rayos captados hacia un segundo espejo; el cual está ubicado en el edificio y que actúa como colector de la luz. Este espejo, al captar la luz lo re-direcciona hacia el tubo de los o la fibra óptica de tal forma que pueda transportar la luz al interior del edificio [35].

Se debe tener especial cuidado en la ubicación de estos sistemas, porque deben estar localizados en zonas donde no haya obstrucciones y se capta la mayor luz directa posible durante todo el día [122].

Si es necesario puede intervenir un tercer espejo, que hace de intermediario para un mejor re direccionamiento de la luz hacia el colector. Es decir, apoya a la colección de luz indirectamente a zonas donde existen obstrucciones materiales que no permiten la instalación SINAI que pueda captar eficientemente la luz, sea directa o difusa (Figura N°65).



*Figura 65: Concentrador de Luz con Parabólicas y Heliostato. Izquierda:* esquema planteado por Martin Kischkoweit tomando en cuenta los espejos reflectantes que re-direccionan la luz. *Fuente:* [36]. *Derecha:* Funcionamiento esquemático en una vivienda. *Fuente:* Prototipo en Bertensbach Lichtlabor Austria

Estos concentradores, utilizan un dispositivo llamado Heliostato, que es un sistema controlado por un ordenador para seguir el movimiento del sol durante el día [36]; a través de un espejo plano o lente de Fresnel. Existen actualmente muchos sistemas en el mercado que trabajan con Heliostatos, como Heliobus [121], que utiliza también este tipo de colector, el cual es utilizado actualmente en zonas donde

hay construcciones históricas. O el planteado por Aurelio González-Pardo, Almudena Rodríguez, José González-Aguilar y Manuel Romero [120], quienes plantean un “heliostato de campo vertical” sobre un edificio y en una zona urbana, de tal forma que este refleja los rayos solares sobre paneles o espejos adosados a la fachada de un bloque edificatorio, captando energía solar e iluminación natural, como se observa en la Figura N° 66.

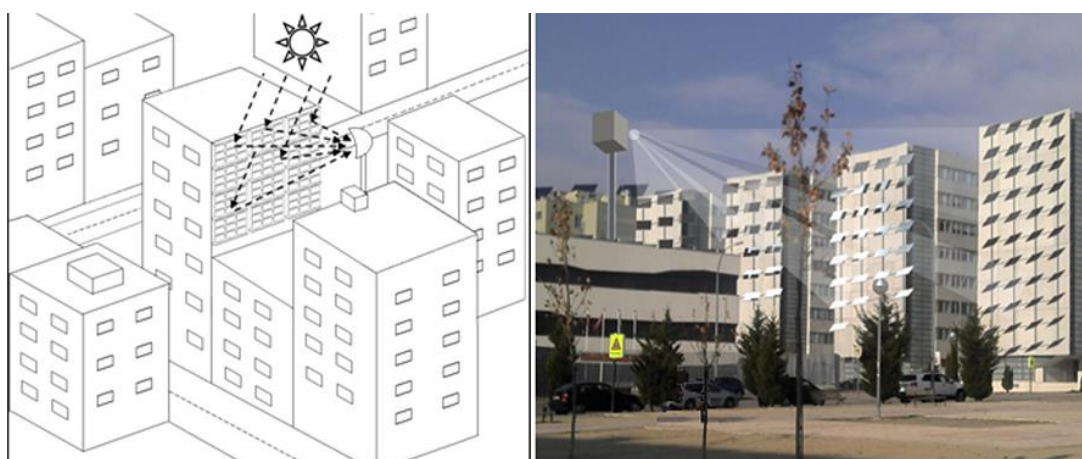


Figura 66: **Concentrador de Luz con Parabólicas y Heliostato.** Izquierda: Croquis de la Helióstato campo vertical arquitectónicamente integrado en un edificio. Derecha: vista del artista de un campo de helióstatos vertical integrado en un ambiente urbano. Fuente: [120]

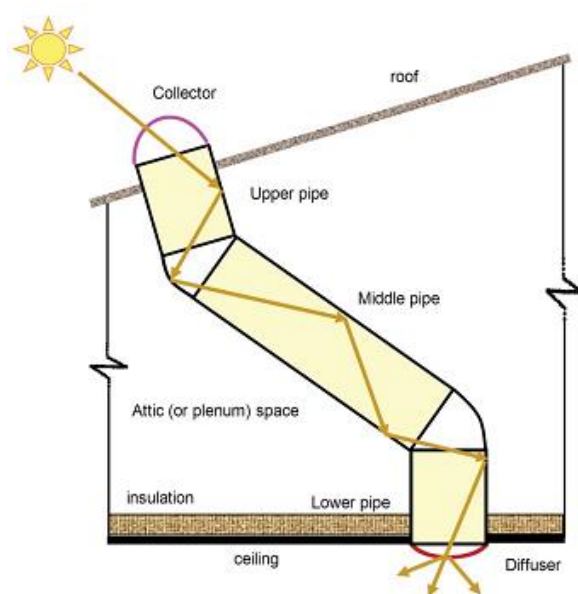
#### 7.2.3.2. SINAI por el tipo de Tubo de Luz (transporte Vertical)

*Característica:* El tubo de luz transporta verticalmente la luz en el edificio, en esta sección se toma importancia al sistema de transporte y distribución de luz. Estos tubos, consisten en tubos circulares o rectangulares que transportan la luz recogida de las fachadas del edificio y techos en espacios profundos del interior de los edificios [114]. Estos tipos de sistemas de iluminación natural se pueden utilizar en conjunto para maximizar el uso de la luz del día para iluminación interior mediante la explotación de diversas características funcionales cuya característica es superar las condiciones locales adversas [116]. Al maximizar la salida de cada sistema cuando los factores ambientales son óptimos, es posible obtener la máxima eficiencia.

#### ✓ **Tubo de luz con Espejos Especulares**

*Principios físicos:* reflexión especular (tubo de luz), transmitancia y reflectancia

El SINAI de Tubo de Luz de Espejos Especulares, transporta la luz a las plantas de un edificio, siendo de sección circular [114]. Es utilizado principalmente en zonas de cielo nublado y bajo luz difusa [100], sin embargo, hay estudios que indican la utilización de estos bajo cualquier clima adicionando dispositivos que protectores de la luz directa [36, 117]; la ventaja de este sistema es que el tubo puede cambiar de ubicación, realizando pequeños quiebres, de acuerdo a la necesidad del ambiente (ver Figura N° 67) o simplemente permanecer de forma lineal y poder extraer la luz a diferentes ambientes de la planta. La parte interior del tubo es especular, porque los rayos de luz reflejados en la tubería transportan la luz a medida que se reflejan en toda la tubería [37].



*Figura 67: Modelo Óptico de Tubo de Luz de Espejos Especulares (modelo 1415-RP), descripción esquemática del sistema para uso residencial incluido los codos d re-direccionan la luz de acuerdo a la necesidad de cada ambiente interior. Fuente: [115]*

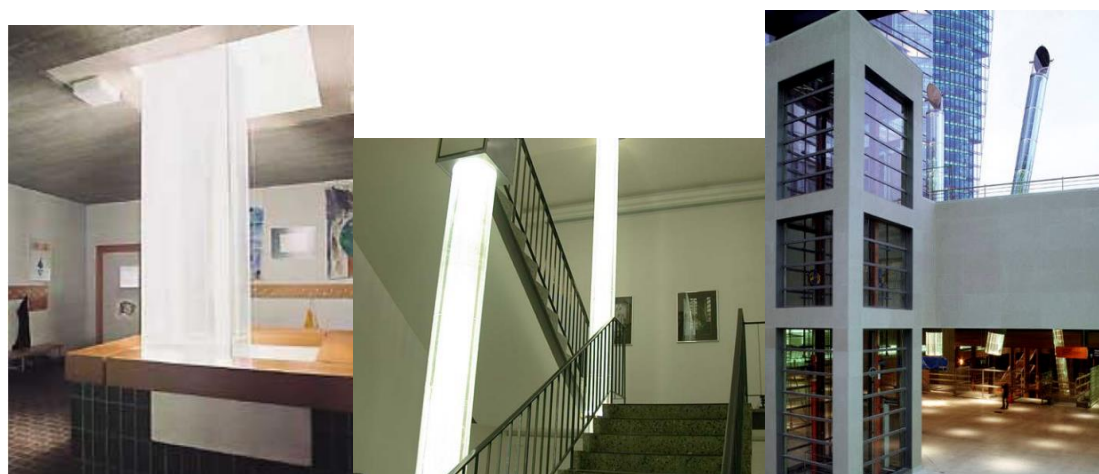
El Concentrador de luz puede ser de cualquier tipo (visto en líneas anteriores), adaptable a la sección circular de éste [117]. Para este modelo en particular se considera tres secciones: un tubo superior inclinado, un segundo medio y un último inferior vertical (ver Figura N°67); los cuales están unidos por “codos”, logrando cambiar de ubicación, realizando pequeños quiebres, de acuerdo a la necesidad del ambiente [115].

Para la extracción de luz hacia un ambiente específico del edificio o “punto local”, se utiliza estos “codos” que re-direccionan la luz; y para poder emitir la luz, se utiliza un tipo de colector acristalado que por transmitancia y reflectancia dispersa los rayos de luz logrando que el ambiente reciba luz agradable a la vista[118].

### ✓ **Tubo de Luz con Micro-prismas**

*Principios físicos:* reflexión especular (tubo de luz), refracción por prisma.

El SINAI de Tubo de Luz Prismático de transporte de luz vertical, a diferencia del anterior sistema, el tubo sirve como transportador y emisor de luz (por su comportamiento físico y el material utilizado). Otra diferencia encontrada es la sección del tubo, que en este caso es rectangular, adaptándose de mejor forma a los ambientes interiores, como se ve en la Figura N°68, derecha.



*Figura 68: SINAI de Tubo de luz Prismático, modelo Heliobus. Izquierda: Modelo inicial adaptado a una oficina. Fuente: [37] Centro: sistema ligero y más delgado adaptado a una vivienda. Fuente: [37] Derecha: se observa el tubo de luz con un concentrador parabólico adicional (año 2005) Fuente: empresa Heliobus.*

Este sistema pasivo inicia con un concentrador de luz, tipo Colimador, cuya función es que el haz de luz divergente homogenice su trayectoria, para ser re-direccionado al tubo de luz prismático [112]. Luego, este sistema es conectado a un tubo prismático; que contiene dos elementos: A. el tubo Prismático en sí, y B. una Guía de luz. Así, el tubo prismático (A), que es un tubo hueco forrado con Micro-prismas de ángulo recto en todo su perímetro (he de ahí su forma rectangular) permite que la luz de refracte al interior éste, transportando la luz en toda la longitud del tubo; de tal forma que la luz reflejada en el tubo, algunos son transportados por el aire y otros son emitidos hacia la habitación, con la ayuda de la guía de luz (B). Una guía de luz interior (B), llamada PPMC, que es una lámina de un material reflejante [37], se ubica interiormente en el centro del tubo, y su función es absorber la luz que sale de los prismas y convertirlo en luz difusa, la cual será reflejada nuevamente hacia el exterior por las paredes del tubo [35], logrando una distribución homogénea de la luz. En la Figura N°69, se observa el esquema en perfil de la instalación de estos dos elementos. Por lo tanto, puede ser utilizado en climas cálidos y templados, bajo luz directa especialmente [112]; puede ser utilizado en cielo nublado pero la distancia de transporte de luz vertical varía.

Siendo la dimensión del tubo para el caso de estudio (oficinas), es de 9.9m de longitud que permite iluminar cuatro pisos y con una sección cuadrada de 0,50 m x 0,65 m [35]; y la guía de luz PPMC de 2m de longitud y de 0.10 a 0.20m de diámetro [37].

Actualmente este sistema es comercial y presenta mejoras sustanciales, con características más versátiles y adaptables a la arquitectura y construcciones existentes (Ítem 8).

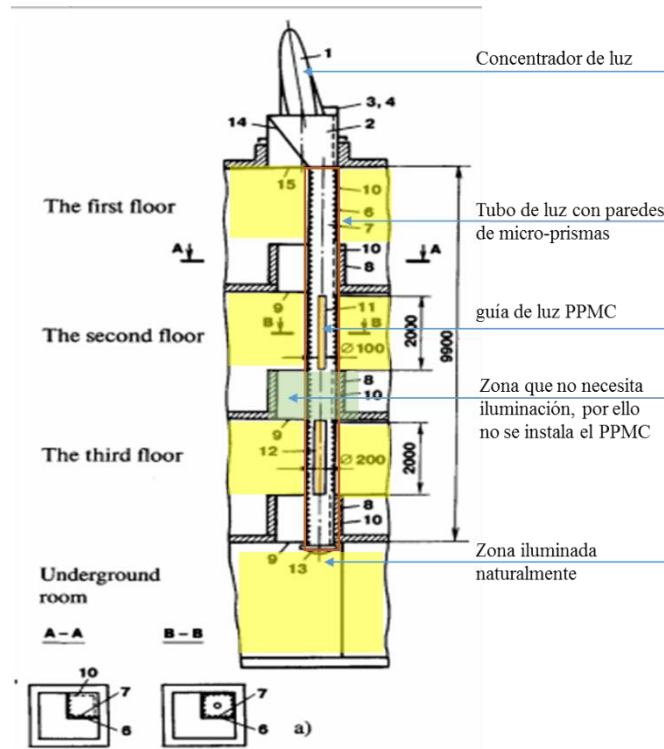


Figura 69: SINAI de Tubo de luz Prismático, modelo Heliobus. Esquema funcionamiento del sistema en un edificio de cuatro niveles. Fuente: [A10, A8]

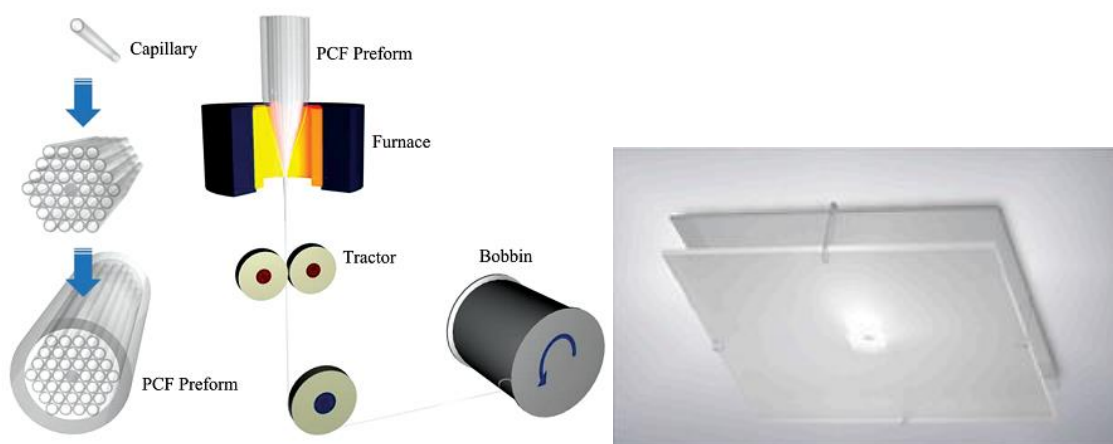
### ✓ SINAI de Fibra Óptica

*Principios físicos:* refracción por haz de luz.

Utilizado para todo tipo de clima y bajo cielo despejado [36]. La principal función de la fibra óptica es el de transporte de luz desde un punto remoto a través de fibras sólidas, delgadas y flexibles con alta eficiencia, y poder emitirlos mediante lámparas estándar [123, 126]; y están hechas de vidrio de silicato o plástico [35].

La fibra óptica comprende un núcleo interno que actúa como el medio de transporte de la luz y un revestimiento exterior de índice de refracción menor que evita las fugas de luz desde el núcleo [121], como se observa en la Figura N° 70. El proceso de reflexión interna total en la fibra óptica es

extremadamente eficiente y la eficiencia del transporte de luz es una función de la longitud, y no del diámetro; a diferencia de los sistemas de tubo de luz [1].



*Figura 70: SINAI con Fibras de Luz. Izquierda: esquema de las partes de la fibra óptica: núcleo y revestimiento. Fuente: [121] Derecha: pantalla vidriada o en acrílico que dispersa la luz procedente de la fibra óptica. Fuente: [125]*

Verónica García [37] identifica tres ventajas considerables de la fibra óptica:

- ✓ La fuente de luz puede ser remota y una cantidad sustancial de la radiación ultravioleta pueden ser retirados antes de que entre de fibra.
- ✓ La naturaleza flexible de la fibra óptica hace que dentro del edificio no ocurran muchas modificaciones
- ✓ Es pequeña (siendo de 10mm de diámetro para distancias grandes [35]), por lo que y se adapta fácilmente a los ambientes del edificio.
- ✓ Brinda la posibilidad de integrar la luz eléctrica y la luz solar como fuente de iluminación transmitida y distribuida a través de una red común.

El inconveniente que presenta es la capacidad de acoplamiento de la fuente de luz a la fibra óptica; por lo que es necesario enfocar la luz a través de un colimador [37]. Para el caso de grandes fuentes de luz, se requiere grandes colectores de enfoque de luz. Las fibras ópticas utilizan focos o lámparas estándar como elemento emisor dentro de un ambiente, siendo las luces LED de bajo consumo [123], así como pantallas de vidrio o acrílico difusoras de la luz que sale de la fibra [125] (Figura N°70). También pueden ser acoplados al sistema de luz eléctrica del edificio [124], resultando ser un sistema de comportamiento híbrido; en la Figura N°70 se presenta un esquema de cómo funciona el sistema.

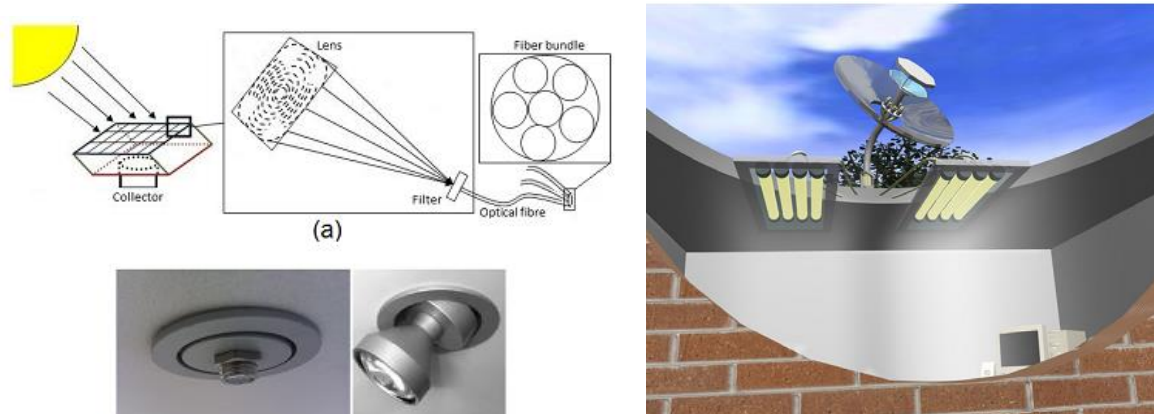


Figura 71: SINAI con Fibras de Luz. Izquierda: esquema de los elementos con los cuales trabaja. Fuente: [123].  
Derecha: Colector cilíndrico parabólico con cables de fibra óptica, que puede conectarse con la luz eléctrica.  
Fuente: [124]

También es importante tomar en cuenta la forma salida de la fibra con la fuente de emisión; radicando su eficacia por la cantidad de solapamiento de la focal, y la detección precisa de la posición del punto focal es, lo cual requiere de la utilización de un fotodiodo de alta resolución [127]. en la Figura N°72, se muestra la unión de la fibra con el dispositivo. En el caso de los concentradores de luz, los más utilizados para este sistema son los parabólicos, también los concentradores con lentes de fresnal [124, 128].

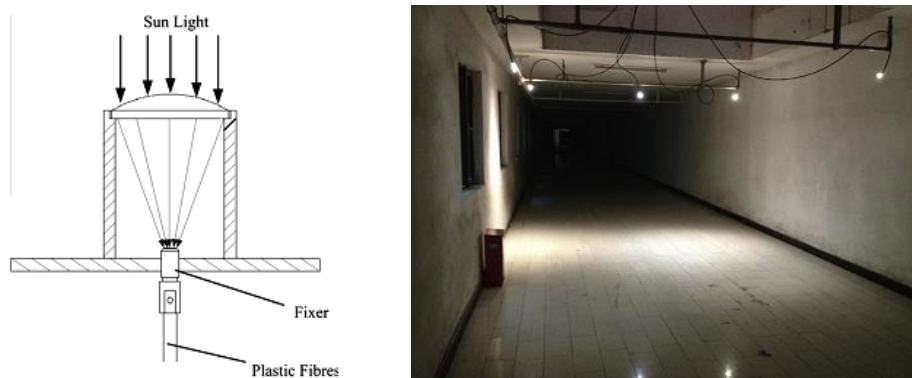


Figura 72: Izquierda: Esquema de ingreso acoplamiento de la fibra óptica con un elemento emisor de luz.  
Derecha: luz emitida al interior del ambiente. Fuente: [127]



### 7.3. SINAI Híbridos

Estos SINAI se caracterizan por combinar diferentes sistemas y cualidades de cada uno de ellos con el fin lograr mejores resultados en cuanto al comportamiento eficiente del sistema, en relación a diferentes condiciones como por ejemplo SINAI cuya función no sea solamente la de iluminación, sino a través de la radiación solar, obtener energía renovable [118], otros buscan la posibilidad de sistemas prácticos y móviles [110], otros buscan sistemas innovadores que puedan aplicarse como parte del mobiliario del edificio [130] y algunos buscan resolver problemas de calidad del aire y confort térmico a través de paneles instalados en las ventanas [129]. En la Figura N° 73 se muestra el esquema aquellos SINAI que actúan con dos fuentes simultáneas de energía, la eléctrica y solar; ambos para lograr iluminación natural.

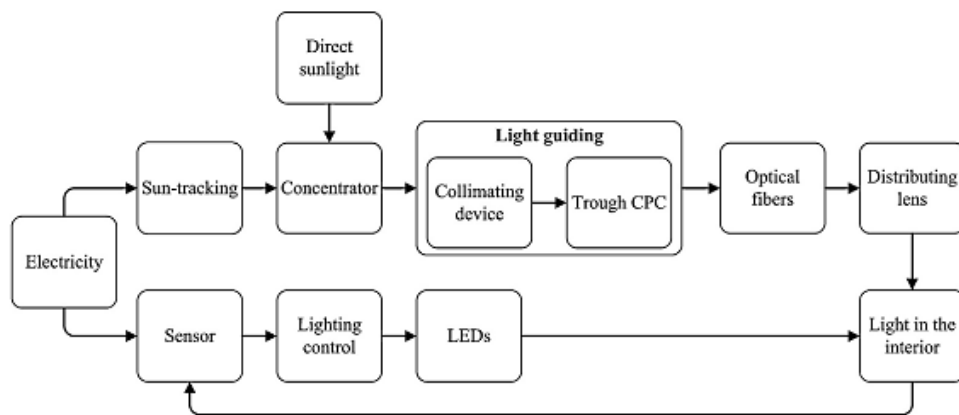


Fig. 1. Flow chart of the proposed hybrid daylighting system.

Figura 73: SINAI que actúan con dos fuentes simultáneas de energía. Fuente:[118]

En la Figura N°74, se muestran algunos sistemas híbridos en estudio:

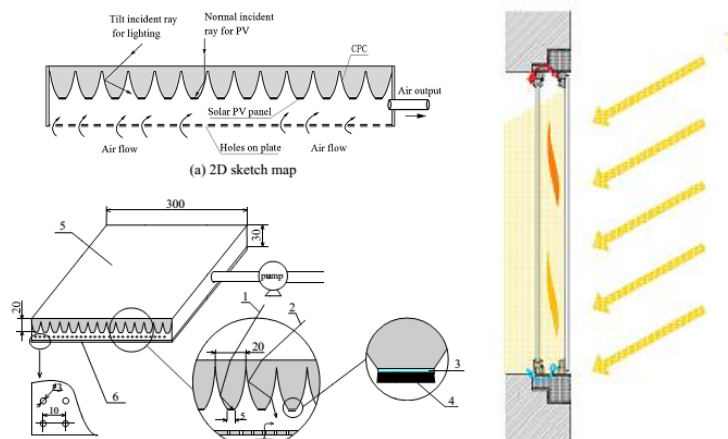


Figura 74: Sistema de generación de energía solar como fuente de energía y control de iluminación Fuente: [130]. Sistemas de doubles paneles para la mejora del confort térmico y acumulación de energía.

Fuente: [129]

#### 7.4. Síntesis de la Clasificación de los SINAI

Resumiendo, en la Tabla N° 19 se presenta los sistemas estudiados de acuerdo a la Clasificación de los SINAI.

CLASES DE SINAI		Nº	DESCRIPCION
Sistemas de Corto Alcance	SINAI estantes de luz	1	Estante de luz convencional
		2	Estantería de sombra liviana
		3	Estantería de sombra ultra liviana
		4	Estante de luz cinético
		5	Estantes de luz con cristales prismáticos
	SINAI persianas y lamas de luz	6	Persianas de luz con micro-cristales prismáticos
		7	Persianas de luz con PCL (Pantalla Cortada de Laser)
	SINAI integrado a la propia ventana	8	Pantalla PCL
		9	Pantallas Holográficas (PH)
		10	Ventanas acristalas con Aerogel de Silicio
	SINAI con claraboyas o huecos cenitales	11	Claraboya angular de PCL
		12	Paneles cenitales con PHM (Pantallas Holográficas Mejorados)
Sistemas de Mediano Alcance	SINAI concentradores de luz	13	Concentrador Anidólico instalado en la pared
		14	Concentrador Anidólico cenital
Sistemas de Largo Alcance	SINAI por el tipo de concentrador	15	Concentrador de luz con PCL
		16	Concentrador de luz con lentes de Fresnel
		17	Concentrador con Espejos Parabólicos
	SINAI por el tipo de tubo de luz	18	Tubo de luz con espejos especulares
		19	Tubo de luz con micro-prismas
		20	Fibra óptica
Híbridos		21	Híbridos

\*Los sistemas de largo alcance combinan las funciones de los concentradores como de los tubos de luz, de tal forma que el sistema de adecue a las características del edificio.

Tabla 19: Relación de los **Sistemas identificados de acuerdo a la clasificación de los SINAI**

## 8. APLICACIÓN DE LOS SINAI A LA TIPOLOGÍA EDIFICATORIA EXISTENTE

### 8.1. Parámetros de los SINAI a tomar en cuenta para su aplicación en la tipología edificatoria existente

Los parámetros sirven para identificar a aquellos SINAI que se desempeñan eficientemente al ser integrados a edificaciones existentes, tomando en cuenta su clasificación de acuerdo a la tipología edificatoria y a su funcionamiento (físico).

La identificación de los parámetros se ha realizado tomando en cuenta las definiciones y alcances expuestos en los Ítem 2: Estado del Arte, Ítem 7: Clasificación de los SINAI e Ítem 5: Tipología Edificatoria Existente. Todo lo aportado teóricamente en el Estado del Arte se refleja en las cualidades contenidas en los diferentes sistemas de iluminación estudiados en la clasificación de dichos sistemas. Así mismo, y con el objetivo de “discriminar” aquellos sistemas que pueden ser utilizados en edificaciones existentes como parte de la Rehabilitación Energética, agregándose aquellas características encontradas en el estudio de tipologías de edificios residenciales Plurifamiliares de cuatro a seis plantas existentes en España. Teniendo como resultados (por puntuación) una relación de SINAI aptos para su uso en estos edificios antiguos según su tipología.

A modo de resumen, se menciona lo siguiente:

- ✓ Los factores son características intrínsecas de todos los SINAI, y que determinan su buen comportamiento. **Al no cumplir con alguno de los factores, el sistema de iluminación natural no será energéticamente eficiente**, pues no logrará un *“uso inteligente de la energía, reduciendo el consumo energético sin disminuir la calidad de vida de los pobladores”* [1].
- ✓ Para entender en funcionamiento de los sistemas de luz natural se debe entender primero los fenómenos físicos de propagación de la luz y la óptica geométrica. El primero actúa como un **medio de transporte y distribución de luz hacia el interior** del edificio [51]; mientras que el segundo **procura la eficiencia lumínica de acuerdo a las necesidades** de cada ambiente [51].
- ✓ Es importante tomar en cuenta los parámetros que condicionan la **“Integración de los SINAI con los edificios residenciales existentes”** [104]; por lo que la aplicación de una tipología específica de SINAI depende de tipología edificatoria residencial estudiada.



A continuación, en las Tablas N° 20, 21 y 22 se establecen las características de los SINAI para sistema estudiado tomando en consideración los dos aspectos importantes del proyecto: los SINAI y la tipología edificatoria.

CLASIFICACIÓN DE LOS SINAI EN FUNCIÓN A LA PROFUNDIDAD DE ILUMINACION INTERIOR	Nº	SINAI	SEGMENTOS RELACIO																									
			1. Por el alcance de luz a un ambiente interior			2. Ahorro Energético				3. Confort Ambiental y Salud			4. Condiciones Climáticas					5. Por su Orientación			6. Por el uso de la luz solar		7. Por el ingreso de Luz y su comportamiento					
			De CORTO alcance	De MEDIANO alcance	De LARGO alcance	Luz Artificial (eléctrica)	Calificación	ACV	Enfriamiento	Confort VISUAL	Confort TERMICO	Calidad de AIRE	Cielo DESEPEJADO	Cielo NUBIADO	Clima TROPICAL	Clima SECO	Clima TEMPLADO	Clima FRÍO	Sistemas FIOS	Sistemas DINAMICO	Sistemas de movimiento AUTOMATICO	La luz solar como elemento de ILUMINACION	La luz como elemento ENERGETICO (radiación solar)	Luz de ingreso LATERAL	Luz de ingreso CENTAL	Sistema ACTIVO	Sistema PASIVO	
CORTO ALCANCE	SINAI Estantes de luz	1	ESTANTE DE LUZ CONVENCIONAL	X			X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X			X		
		2	ESTANTERÍA DE SOMBRA LIVIANA	X			X			X	X		X		X	X	X	X	X		X		X	X	X		X	
		3	ESTANTERIA DE SOMBRA ULTRA LIVIANA	X			X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X
		4	ESTANTES DE LUZ CINÉTICOS	X			X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X
		5	ESTANTES DE LUZ CON CRISTALES PRISMATICOS	X			X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X
	SINAI Persianas y lamas de luz	6	PERSIANAS DE LUZ CON MICRO-CRISTALES PRISMATICOS	X			X	X		X	X		X	X		X	X	X	X		X		X				X	
		7	PERSIANAS DE LUZ CON PCL	X			X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X				X	
	SINAI aplicados a la propia ventana	8	PANTALLA CORTADA CON LASER (PCL)	X			X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X				X	
		9	PANTALLAS HOLOGRAFICAS (PH)	X			X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X				X	
		10	VENTANAS ACRISTALAS CON AEROGEL DE SILICIO	X			X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X				X	
	SINAI Claraboyas o huecos cenitales	11	CLARABOYA ANGULAR DE PCL	X			X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X		X		X	
		12	PANELES CENITALES CON PANTALLAS HOLOGRAFICAS MEJORADOS (PHM)		X											X		X	X		X		X		X		X	
MEDIANO ALCANCE	SINAI Concentradores de Luz instalados en las Fachadas	13	CONCENTRADOR ANIDÓLICO INSTALADO EN LA PARED		X		X	X		X	X		X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	
		14	CONCENTRADOR ANIDOLICO CENTAL		X		X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X
LARGO ALCANCE	SINAI por el tipo de Concentrador	15	CONCENTRADOR DE LUZ CON PCL			X	X		X	-		X		X	X	X	X	X		X		X		X		X		
		16	CONCENTRADOR DE LUZ CON LENTES DE FRESNEL			X	X		X	-		X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X
		17	CONCENTRADOR CON ESPEJOSPARABOLICOS			X	X		X	-		X		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X
	SINAI por el tipo de Tubo de luz	18	TUBO DE LUZ CON ESPEJOS ESPECULARES			X	X		X	-	X		X		X	X	X	X	X		X		X		X		X	
		19	TUBO DE LUZ CON MICRO-PRISMAS			X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X		X		X		X		X	
		20	FIBRA OPTICA			X	X		X				X		X	X		X	X		X	X	X	X	X	X		X
		21	HIBRIDOS			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X

Tabla 20: Parámetros de los SINAI y su Aplicación en la Tipología Edificatoria Existente (primera parte)



CLASIFICACIÓN DE LOS SINAI EN FUNCIÓN A LA PROFUNDIDAD DE ILUMINACION INTERIOR	Nº	SINAI	8. Control y apoyo de la Luz				9. Adaptación del ambiente interior de un edificio a las actividades del usuario						10. Elementos de propagación y óptica geométrica					11. Principios físicos de propagación de la luz aplicados y sus características										
			Control de luz DIRECTA	Luz DIFUSA	Apoyo de luz DIRECTA y DIFUSA	Vista al EXTERIOR	Nivel de LUMINACION adecuado	Distribución de luz HOMOGÉNEA	Iluminación CONTINUA	Control de DESLUMBRAMIENTOS	Control de SOMBRAS	Adecuado CONTRASTE	Adecuada reproducción CROMÁTICA	INSOLACION (aprovechamiento de horas)	DISTRIBUCION de luz	CONCENTRACION de luz	TRANSPORTE de luz	REDIRECCION de luz	EXTRACCIÓN de luz	EMISION de luz	REFLEXION	Refracción por PRISMA	Refracción por HAZ de luz	DIFUSION o dispersión	Polarización por ABSORCION	Difracción de FRESNEL	Difracción por HOLOGRAMAS	
			CORTO ALCANCE	SINAI Estantes de luz	1	ESTANTE DE LUZ CONVENCIONAL	X	X	X		X		X	X	X	X	X						X					
2	ESTANTERÍA DE SOMBRA LIVIANA	X				X	X	X	X		X	X	X		X						X			X				
3	ESTANTERIA DE SOMBRA ULTRA LIVIANA	X				X	X	X	X		X	X	X		X	X		X			X							
4	ESTANTES DE LUZ CINÉTICOS	X				X	X	X	X		X	X	X		X	X					X							
5	ESTANTES DE LUZ CON CRISTALES PRISMATICOS	X				X		X	X		X	X	X	X	X	X					X							
SINAI Persianas y lamas de luz	6	PERSIANAS DE LUZ CON MICRO-CRISTALES PRISMATICOS		X		X	X	X	X		X	X	X	X	X		X			X	X							
	7	PERSIANAS DE LUZ CON PCL		X		X			X	X	X	X			X		X				X		X					
SINAI aplicados a la propia ventana	8	PANTALLA CORTADA CON LASER (PCL)		X		X	X	X	X		X	X	X		X		X					X						
	9	PANTALLAS HOLOGRAFICAS (PH)			X			X	X		X	X	X		X													X
SINAI Claraboyas o huecos cenitales	10	VENTANAS ACRISTALAS CON AEROGEL DE SILICIO		X		X		X	X		X	X	X	X	X									X				
	11	CLARABOYA ANGULAR DE PCL		X		X	X	X	X		X	X	X		X	X		X			X		X					
		12		PANELES CENITALES CON PANTALLAS HOLOGRAFICAS MEJORADOS (PHM)	X	X	X	X	X		X	X			X													X
MEDIANO ALCANCE	SINAI Concentradores de Luz instalados en las Fachadas	13	CONCENTRADOR ANIDÓLICO INSTALADO EN LA PARED		X	X	X	X	X		X	X			X	X	X		X	X								
		14	CONCENTRADOR ANIDOLICO CENITAL		X	X		X		X		X		X		X	X	X		X	X							
LARGO ALCANCE	SINAI por el tipo de Concentrador	15	CONCENTRADOR DE LUZ CON PCL	X		X		X	X			X			X	X	X		X	X		X						
		16	CONCENTRADOR DE LUZ CON LENTES DE FRESNEL	X		X		X	X	X		X		X		X	X	X		X	X					X		
		17	CONCENTRADOR CON ESPEJOS PARABOLICOS	X		X		X	X	X		X		X		X	X	X		X	X							
	SINAI por el tipo de Tubo de luz	18	TUBO DE LUZ CON ESPEJOS ESPECULARES		X	X		X	X		X					X	X			X	X							
		19	TUBO DE LUZ CON MICRO-PRISMAS	X		X		X	X	X		X	X	X			X	X		X	X							
		20	FIBRA OPTICA	X		X		X	X	X		X	X	X			X	X		X	X		X					
Hibrido	21	HIBRIDOS	X		X		X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X				X				

Tabla 21: Parámetros de los SINAI y su Aplicación en la Tipología Edificatoria Existente (segunda parte)



CLASIFICACIÓN DE LOS SINAI EN FUNCIÓN A LA PROFUNDIDAD DE ILUMINACION INTERIOR		Nº	SINAI	SEGMENTOS RELACIONADOS A LA TIPOLOGIA EDIFICATORIA																		
				12. Por sus parámetros y condicionantes arquitectónicas / estructurales				13. Costos y rentabilidad			14. Mantenimiento y durabilidad		15. Por la integración del sistema al edificio						16. Modelos	17. Disponibilidad del sistema o fases de desarrollo		
				Cambios ARQ. / EST. Considerables	Cambios ARQ. / EST. Moderados	Propagación de luz VERTICAL (niveles)	Propagación de luz HORIZONTAL (amb.)	RENTABLE a largo plazo	Costo Alto	Costo Medio	FACIL mantenimiento	DURABLE en el tiempo	Integrado a la CUBIERTA o TERRAZA	Integrado al INTERIOR del ambiente	Integrado a la VENTANA	De FACIL instalación	De DIFÍCIL instalación	Tiene elementos MODULARES	APLICACIÓN a modelos residenciales	Fase de ESTUDIO	Fase de DESARROLLO	DISPONIBLE en el mercado
CORTO ALCANCE	SINAI Estantes de luz	1	ESTANTE DE LUZ CONVENCIONAL	X			X	X		X	X		X	X	X		X	X		X		
		2	ESTANTERÍA DE SOMBRA LIVIANA	X			X	X		X					X		X		X		X	
		3	ESTANTERÍA DE SOMBRA ULTRA LIVIANA	X			X	X	X						X		X		X		X	
		4	ESTANTES DE LUZ CINÉTICOS		X		X	X	-	-	X	X			X	X		X		X	-	
		5	ESTANTES DE LUZ CON CRISTALES PRISMATICOS		X		X	X			X	X	X			X	X		X		X	-
	SINAI Persianas y lamas de luz	6	PERSIANAS DE LUZ CON MICRO-CRISTALES PRISMATICOS		X		X	X			X	X	X			X	X		X		X	-
		7	PERSIANAS DE LUZ CON PCL		X		X	X			X	X	X			X			X		X	
	SINAI aplicados a la propia ventana	8	PANTALLA CORTADA CON LASER (PCL)		X		X	X			X	X	X			X			X		X	
		9	PANTALLAS HOLOGRAFICAS (PH)		X		X	X	X			X	X			X	X			X		X
	SINAI Claraboyas o huecos cenitales	10	VENTANAS ACRISTALAS CON AEROGEL DE SILICIO		X		X	X	X			X	X			X	-	-	-		X	X
		11	CLARABOYA ANGULAR DE PCL		X	X			X			X	X	X	X		-	-	-		X	-
			12	PANELES CENITALES CON PANTALLAS HOLOGRAFICAS MEJORADOS (PHM)		X	X			X			X	X	X			X		X		X
MEDIANO ALCANCE	SINAI Concentradores de Luz instalados en las Fachadas	13	CONCENTRADOR ANIDÓLICO INSTALADO EN LA PARED	X			X	X	X			X			X	X		X		X		
		14	CONCENTRADOR ANIDOLICO CENITAL	X		X		X	X			X	X	X		X			X		X	
LARGO ALCANCE	SINAI por el tipo de Concentrador	15	CONCENTRADOR DE LUZ CON PCL	X		X		X	-	-	X	X	X				X		X	X		
		16	CONCENTRADOR DE LUZ CON LENTES DE FRESNEL	X		X	X	X			X	X	X	X		X		-	X	X		X
		17	CONCENTRADOR CON ESPEJOS PARABOLICOS	X		X	X	X	-	-		X	X			X						X
	SINAI por el tipo de Tubo de luz	18	TUBO DE LUZ CON ESPEJOS ESPECULARES	X		X	X	X	-	-		X			X		X		X	X		X
		19	TUBO DE LUZ CON MICRO-PRISMAS	X		X		X	-	-	X				X		X		X	X		X
		20	FIBRA OPTICA	X		X	X	X	X			X	X			X	X		X	X		X
Hibrido		21	HIBRIDOS	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X		X	X	X		

Tabla 22: Parámetros de los SINAI y su Aplicación en la Tipología Edificatoria Existente (tercera parte)

## 8.2. Cruce de Información y discriminación funcional

A partir de la identificación de los parámetros de los SINAI, tanto en torno a sus características propias y los parámetros de la tipología edificatoria existente que comprometen su adecuado funcionamiento; se procede con el cruce de información de la siguiente forma:

- ✓ Primero, tomando como base la Tabla N° 19 sobre los sistemas identificados de acuerdo a la clasificación de los SINAI, se realiza la discriminación de aquellos parámetros que influyen y caracterizan a cada sistema; puntuando en base al cumplimiento o no dichas características. Así se tiene por ejemplo en la Figura N° 73:

Nº	CLASIFICACION  SINAI	5. Por su Orientación			TOTAL
		Sistemas FIJOS	Sistemas DINAMICO	Sistemas de movimiento AUTOMATICO	
1	ESTANTE DE LUZ CONVENCIONAL	X	X		2
2	ESTANTERÍA DE SOMBRA LIVIANA	X			1
3	ESTANTERÍA DE SOMBRA ULTRA LIVIANA	X		X	2
4	ESTANTES DE LUZ CINÉTICOS		X	X	2
5	ESTANTES DE LUZ CON CRISTALES PRISMATICOS	X	X		2
6	PERSIANAS DE LUZ CON MICRO-CRISTALES PRISMATICOS	X	X		2
7	PERSIANAS DE LUZ CON PCL	X	X		2
8	PANTALLA CORTADA CON LASER (PCL)	X			1

Figura 75: Ejemplo sobre valoración de los Parámetros de lo SINAI y su Aplicación en la Tipología Edificatoria Existente

El grupo 5. Por su Orientación, de las tres características consideradas, el sistema puede cumplir un máximo de dos; entonces será valorada con ese número; así será en cada Segmento.

- ✓ Así, este cuadro valora el **Nivel de Adaptación de un SINAI de acuerdo a las características identificadas de la tipología** para edificios Multifamiliares de 4 a 6 pisos. En las Tablas 8, 9, 10, 11, 12 y 18

		PARÁMETROS DE LOS SINAI Y SU APLICACIÓN EN LA TIPOLOGÍA EDIFICATORIA EXISTENTE															
		2. Ahorro Energético	3. Confort Ambiental y Salud	4. Condiciones Climáticas	5. Por su Orientación	6. Por el uso de la luz solar	7. Por el ingreso de Luz y su comportamiento	8. Control y apoyo de la Luz	9. Adaptación del ambiente interior de un edificio a las actividades del usuario	12. Por sus parámetros y condicionantes arquitectónicas / estructurales	13. Costos y rentabilidad	14. Mantenimiento y durabilidad	15. Por la Integración del sistema al edificio	16. Modelos	17. Disponibilidad del sistema o fases de desarrollo	PUNTAJE MAXIMO	
		TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	
Sistemas de Corto Alcance	DESCRIPCIÓN	4	3	5	2	2	3	3	8	2	2	2	3	1	2	42	
	I. SINAI Estantes de luz	1 ESTANTE DE LUZ CONVENCIONAL	3	2	6	2	1	2	3	5	2	2	2	3	1	2	36
		2 ESTANTERÍA DE SOMBRA LIVIANA	1	2	4	1	1	3	3	5	2	2	1	2	1	1	29
		3 ESTANTERIA DE SOMBRA ULTRA LIVIANA	3	2	6	2	1	3	3	6	2	2	1	2	1	1	35
		4 ESTANTES DE LUZ CINÉTICOS	3	2	6	2	1	2	3	7	2	1	2	3	1	1	36
		5 ESTANTES DE LUZ CON CRISTALES PRISMATICOS	3	2	6	2	1	2	2	7	2	2	2	3	1	1	36
	II. SINAI Persianas y lamas de luz	6 PERSIANAS DE LUZ CON MICRO-CRISTALES PRISMATICOS	3	2	4	2	1	2	3	8	2	2	2	3	0	2	36
		7 PERSIANAS DE LUZ CON PCL	3	2	6	2	1	2	2	4	2	2	2	2	1	1	32
	III. SINAI aplicados a la propia ventana	8 PANTALLA CORTADA CON LASER (PCL)	3	2	6	1	1	2	3	5	2	2	2	1	1	2	33
		9 PANTALLAS HOLOGRAFICAS (PH)	3	2	5	1	1	2	1	5	2	2	2	2	0	2	30
		10 VENTANAS ACRISTALAS CON AEROGEL DE SILICIO	3	2	5	1	1	2	2	6	2	2	2	1	0	2	31
	IV. SINAI Claraboyas o huecos cenitales	11 CLARABOYA ANGULAR DE PCL	3	2	4	1	1	2	3	7	2	2	2	1	0	1	31
12 PANELES CENITALES CON PANTALLAS HOLOGRAFICAS MEJORADOS (PHM)		0	0	1	2	1	2	4	4	2	1	2	3	0	2	24	

Tabla 23: Cruce de Información y Valoración por Segmentos de los SINAI, Nivel de Adaptación de un SINAI de acuerdo a las características identificadas de la tipología, puntuado de acuerdo a los parámetros de cada segmento (primera parte)



			2. Ahorro Energético	3. Confort Ambiental y Salud	4. Condiciones Climáticas	5. Por su Orientación	6. Por el uso de la luz solar	7. Por el ingreso de Luz y su comportamiento	8. Control y apoyo de la Luz	9. Adaptación del ambiente interior de un edificio a las actividades del usuario	12. Por sus parámetros y condicionantes arquitectónicas / estructurales	13. Costos y rentabilidad	14. Mantenimiento y durabilidad	15. Por la Integración del sistema al edificio	16. Modelos	17. Disponibilidad del sistema o fases de desarrollo	PUNTAJE MAXIMO	
			TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	TOTAL	
Sistemas de Mediano Alcance	DESCRIPCIÓN		4	3	5	2	2	3	3	6	3	2	2	3	1	2	41	
	SINAI Concentradores de Luz instalados en	13	CONCENTRADOR ANIDÓLICO INSTALADO EN LA PARED	2	2	3	2	1	3	3	5	2	2	1	2	1	2	31
		14	CONCENTRADOR ANIDOLICO CENTAL	3	2	3	2	1	2	2	4	2	2	1	2	1	2	29
Sistemas de Largo Alcance	DESCRIPCIÓN		4	3	5	2	2	2	2	5	3	2	2	3	1	2	38	
	SINAI por el tipo de Concentrador	15	CONCENTRADOR DE LUZ CON PCL	1	1	5	1	1	2	2	3	2	1	2	2	0	2	25
		16	CONCENTRADOR DE LUZ CON LENTES DE FRESNEL	1	1	5	2	1	2	2	5	3	2	2	2	1	2	31
		17	CONCENTRADOR CON ESPEJOS PARABOLICOS	1	1	3	2	1	2	2	5	3	1	1	2	0	1	25
	SINAI por el tipo de Tubo de luz	18	TUBO DE LUZ CON ESPEJOS ESPECULARES	1	2	3	1	1	2	2	3	3	1	1	3	1	2	26
		19	TUBO DE LUZ CON MICRO-PRISMAS	2	2	5	1	1	2	2	7	2	1	1	3	1	2	32
	20	FIBRA OPTICA	1	1	3	2	2	2	2	6	3	2	2	3	1	2	32	
Híbrido	DESCRIPCIÓN		4	3	5	3	2	3	3	8	3	2	2	3	1	2	44	
		21	HIBRIDOS	4	2	5	2	2	2	2	7	3	2	1	3	1	2	38

Tabla 24: Cruce de Información y Valoración por Segmentos de los SINAI, Nivel de Adaptación de un SINAI de acuerdo a las características identificadas de la tipología, puntuado de acuerdo a los parámetros de cada segmento (segunda parte)

- ✓ Finalmente, se valora por la **Capacidad de Integración de un SINAI a la tipología** para edificios Multifamiliares de 4 a 6 pisos; relacionado con la clasificación realizada de los SINAI que se refleja en la Tabla N° 25, del que se comentan en el siguiente Ítem como parte de los resultados.

Es preciso mencionar también, sobre el Segmento N° 13, 15, 16 y 17, sobre la aplicación de estos sistemas a modelos residenciales y es estado del proyecto a nivel de avance tecnológico o estudios sobre la mejora del sistema (Tabla N° 26). También se ha de indicar que la información sobre costos y rentabilidad, es información obtenida de algunos estudios encontrados referidos a este tema, sin embargo, son en su mayoría datos de años antes del 204 y de lugares fuera del ámbito de España; por lo que estos datos son meramente informativos y relativos.

Los “-“ (guiones) vistos en la tabla, significa que no se encontró información, estos se aprecian más en la parte de parámetros y características de las Tipologías Edificatorias Existentes.



CLASIFICACIÓN DE LOS SINAI EN FUNCIÓN A LA PROFUNDIDAD DE ILUMINACION INTERIOR	Nº	SINAI	1. Por el alcance de luz a un ambiente interior			12. Por sus parámetros y condicionantes arquitectónicas / estructurales				13. Costos y rentabilidad			15. Por la integración del sistema al edificio				TOTAL			
			De CORTO alcance	De MEDIANO alcance	De LARGO alcance	Cambios ARC. / EST. Considerables	Cambios ARC. / EST. Moderados	Propagación de luz VERTICAL (niveles)	Propagación de luz HORIZONTAL (amb. RENTABLE a largo plazo	Costo Alto	Costo Medio	Integrado a la CUBIERTA o TERRAZA	Integrado al INTERIOR del ambiente	Integrado a la VENTANA	De FACIL instalación	De DIFÍCIL instalación		Tiene elementos MODULARES		
CORTO ALCANCE	SINAI Estantes de luz	1	ESTANTE DE LUZ CONVENCIONAL	X			X			X	X		X		X	X	X		4	
		2	ESTANTERÍA DE SOMBRA LIVIANA	X			X			X	X		X		X	X		X		3
		3	ESTANTERÍA DE SOMBRA ULTRA LIVIANA	X			X			X	X	X			X	X		X		3
		4	ESTANTES DE LUZ CINÉTICOS	X				X		X	X	-	-		X	X		X		3
		5	ESTANTES DE LUZ CON CRISTALES PRISMATICOS	X				X		X	X		X		X	X		X		3
	SINAI Persianas y lamas de luz	6	PERSIANAS DE LUZ CON MICRO-CRISTALES PRISMATICOS	X				X		X	X		X		X	X		X		3
		7	PERSIANAS DE LUZ CON PCL	X				X		X	X		X		X			X		2
	SINAI aplicados a la propia ventana	8	PANTALLA CORTADA CON LASER (PCL)	X				X		X	X		X		X					1
		9	PANTALLAS HOLOGRAFICAS (PH)	X				X		X	X	X			X	X				2
		10	VENTANAS ACRISTALAS CON AEROGEL DE SILICIO	X				X		X	X	X			X	-	-	-	-	1
	SINAI Claraboyas o huecos cenitales	11	CLARABOYA ANGULAR DE PCL	X				X	X		X		X	X		-	-	-	-	1
		12	PANELES CENITALES CON PANTALLAS HOLOGRAFICAS MEJORADOS (PHM)		X			X	X			X		X		X		X		3
MEDIANO ALCANCE	SINAI Concentradores de Luz instalados en las Fachadas	13	CONCENTRADOR ANIDÓLICO INSTALADO EN LA PARED		X		X		X	X	X			X	X		X		3	
		14	CONCENTRADOR ANIDOLICO CENTAL		X			X		X	X		X	X			X		3	
LARGO ALCANCE	SINAI por el tipo de Concentrador	15	CONCENTRADOR DE LUZ CON PCL			X	X		X		X	-		X				X	2	
		16	CONCENTRADOR DE LUZ CON LENTES DE FRESNEL			X	X		X	X	X		X	X			X		-	2
		17	CONCENTRADOR CON ESPEJOSPARABOLICOS			X	X		X	X	X	-	-	X				X		2
	SINAI por el tipo de Tubo de luz	18	TUBO DE LUZ CON ESPEJOS ESPECULARES			X	X		X	X	X	-	-		X		X		X	3
		19	TUBO DE LUZ CON MICRO-PRISMAS			X	X		X	X	-	-		X		X		X		3
		20	FIBRA OPTICA			X	X		X	X	X	X		X	X		X	X		4
		21	HIBRIDOS			X	X		X	X	X	X		X	X	X	X		X	5

Tabla 25: Cruce de Información y Valoración por Segmentos de los SINAI. Capacidad de Integración de un SINAI a la tipología; a partir del segmento 12 y 15

CLASIFICACIÓN DE LOS SINAI EN FUNCIÓN A LA PROFUNDIDAD DE ILUMINACIÓN INTERIOR	Nº	SINAI	1. Por el alcance de luz a un ambiente interior			13. Costos y rentabilidad			15. Por la Integración del sistema al edificio					16. Modelos		17. Disponibilidad el sistema o fases de desarrollo			
			De CORTO alcance	De MEDIANO alcance	De LARGO alcance	RENTABLE a largo plazo	Costo Alto	Costo Medio	Integrado a la CUBIERTA o TERRAZA	Integrado al INTERIOR del ambiente	Integrado a la VENTANA	De FACIL instalación	De DIFÍCIL instalación	Tiene elementos MODULARES	APLICACIÓN a modelos residenciales	Fase de ESTUDIO	Fase de DESARROLLO	DISPONIBLE en el mercado	
CORTO ALCANCE	SINAI Estantes de luz	1	ESTANTE DE LUZ CONVENCIONAL	X			X		X			X	X	X		X	X		X
		2	ESTANTERÍA DE SOMBRA LIVIANA	X			X		X			X	X		X		X		X
		3	ESTANTERÍA DE SOMBRA ULTRA LIVIANA	X			X	X				X	X		X		X		X
		4	ESTANTES DE LUZ CINÉTICOS	X			X	-	-			X	X		X		X		X
		5	ESTANTES DE LUZ CON CRISTALES PRISMÁTICOS	X			X		X			X	X		X		X		X
	SINAI Persianas y lamas de luz	6	PERSIANAS DE LUZ CON MICRO-CRISTALES PRISMÁTICOS	X			X		X			X	X		X		X	X	-
		7	PERSIANAS DE LUZ CON PCL	X			X		X			X			X		X		X
	SINAI aplicados a la propia ventana	8	PANTALLA CORTADA CON LASER (PCL)	X			X		X			X			X		X	X	X
		9	PANTALLAS HOLOGRÁFICAS (PH)	X			X	X				X	X		X		X	X	X
		10	VENTANAS ACRISTALAS CON AEROGEL DE SILICIO	X			X	X				X	-	-	-		X	X	-
	SINAI Claraboyas o huecos cenitales	11	CLARABOYA ANGULAR DE PCL	X			X		X	X			-	-	-		X	X	-
		12	PANELES CENITALES CON PANTALLAS HOLOGRÁFICAS MEJORADOS (PHM)	X					X		X			X	X		X		X
MEDIANO ALCANCE	SINAI Concentradores de Luz instalados en las Fachadas	13	CONCENTRADOR ANIDÓLICO INSTALADO EN LA PARED		X		X	X			X	X		X		X	X	X	
		14	CONCENTRADOR ANIDÓLICO CENITAL		X		X	X			X	X		X		X	X	X	
LARGO ALCANCE	SINAI por el tipo de Concentrador	15	CONCENTRADOR DE LUZ CON PCL			X	X	-		X					X		X	X	
		16	CONCENTRADOR DE LUZ CON LENTES DE FRESNEL			X	X		X	X			X		-	X	X	X	
		17	CONCENTRADOR CON ESPEJOS PARABÓLICOS			X	X		-	-	X				X				X
	SINAI por el tipo de Tubo de luz	18	TUBO DE LUZ CON ESPEJOS ESPECULARES			X	X		-	-	X			X		X	X	X	
		19	TUBO DE LUZ CON MICRO-PRISMAS			X	X		-	-	X			X		X	X	X	
		20	FIBRA ÓPTICA			X	X	X			X	X		X	X	X	X	X	

Tabla 26: Aplicación de estos sistemas a modelos residenciales y es estado del proyecto a nivel de avance tecnológico o estudios sobre la mejora del sistema.

### 8.3. Algunos Sistemas Comerciales

Como se ha visto en las Tablas 20, 21 y 22, la mayoría de estos SINAI son producidos, sin embargo, los costos son caros aún y no son conocidos por la población en su mayoría. En la Tabla Nª 26, sobre la **Aplicación de estos sistemas a modelos residenciales y es estado del proyecto a nivel de avance tecnológico o estudios sobre la mejora del sistema; se evidencia este problema y a partir de ella se tienen las interpretaciones en el Ítem correspondiente.**

## 9. RESULTADOS

- Tablas N° 20, 21 y 22. Referido a los **Parámetros de los SINAI y su Aplicación en la Tipología Edificatoria Existente:**
  - ✓ La clasificación de Largo Alcance utiliza mayores elementos de propagación y óptica geométrica (Segmento N°10) como parte del funcionamiento de sus sistemas.
  - ✓ Los parámetros del segmento N° 10 no necesariamente coinciden con los principios físicos de propagación de la luz; pues existen sistemas que solo trabajan con la “reflexión” y el tipo de material para sus dispositivos.
  
- Tablas N° 23 y 24. Referido a la valoración por el **Nivel de Adaptación de un SINAI de acuerdo a las características identificadas de la tipología** para edificios Multifamiliares de 4 a 6 pisos.
  - ✓ De las tablas 23 y 24 se puede observar que los SINAI que se adaptan mejor a las características tipológicas son: la uno, cuatro, cinco y seis para el sistema de Corto Alcance; el SINAI número trece para el sistema de Mediano Alcance; y los SINAI dieciséis, diecinueve y veinte en el caso del sistema de Largo Alcance.
  - ✓ Los sistemas de Corto Alcance ofrecen mayor diversidad de aplicaciones; los segmentos considerados dentro de las características correspondientes a los SINAI no ofrecen mayor variación en su valoración; sin embargo, la diferencia radica en la puntuación asignada al segmento N° 15 (por la integración del sistema); lo que indica que la aplicación de estos SINAI depende en primer lugar de la arquitectura del edificio.
  - ✓ Lo sistemas de Mediano Alcance ofrecen dos sistemas que a nivel de puntuación están cercanos, por lo que ambos sistemas pueden ser utilizados de acuerdo a las necesidades y características específicas de un caso determinado.
  - ✓ En cuanto a los sistemas de Largo Alcance, el Tubo de luz con Micro-prismas ofrece mayor adaptación al ambiente interior, pero el que se integra mejor al edificio es la Fibra de Optica; y de acuerdo a las condiciones climáticas exteriores y a su aplicación en modelos residenciales los recomendable, de acuerdo a la puntuación son los Concentradores con lentes de Fresnal y los Concentradores con Espejos Especulares respectivamente.
  - ✓ Los sistemas Híbridos, alcanzan un puntaje aceptable en relación al puntaje máximo; por lo que demuestra que al intervenir varios aspectos como: la utilización de la luz solar como fuente de

iluminación y fuente energética, la captación de fuente luminosa a por las ventanas y cenitalmente, la adaptación al ambiente interior y otros; se podría obtener mayor Eficiencia Energética del sistema y al ser más adaptable, es posible que pueda integrarse de mejor forma al edificio.

- ✓ Los sistemas Híbridos, en la mayoría de los casos han sido estudiados para su aplicación en sistemas de Largo Alcance y, si se compara las puntuaciones, existe una igualdad en puntaje. Lo que significa que éste sistemas podría ser una solución bastante interesante para los edificios que necesiten sistemas de Largo Alcance.
  
- Tabla N<sup>a</sup> 25. Referido a la valoración por la **Capacidad de Integración de un SINAI a la tipología** para edificios Multifamiliares de 4 a 6 pisos
  
- ✓ De los sistemas de Corto alcance, los SINAI uno y cuatro son los que tienen mayor capacidad de integración con el edificio.
- ✓ De los sistemas de Mediano alcance, el SINAI trece es el que tiene mayor capacidad de integración con el edificio.
- ✓ De los sistemas de Corto alcance, los SINAI dieciséis y veinte son los que tienen mayor capacidad de integración con el edificio.
  
- Tabla N<sup>a</sup> 26. Referido a **Aplicación de estos sistemas a modelos residenciales y es estado del proyecto a nivel de avance tecnológico o estudios sobre la mejora del sistema.**
  
- ✓ En la Tabla N<sup>o</sup> 26 se evidencia que, si bien es cierto la mayoría de los sistemas estudiados están disponibles en el mercado, no se tiene mucho conocimiento público sobre ello. Puede ser debido a los costos de inversión inicial o simplemente se ignora la existencia de estos sistemas. Así mismo, la mayoría de estos sistemas se encuentran en fase de estudio en relación a las mejoras del sistema; esto indica que existe un amplio rango de información que se actualiza día a día, y que es necesario implementar un sistema para un determinado sitio y clima específico, de tal forma que la mejora se dé igualmente a la aplicación e integración específica de esta.

## 10. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ACTUALES Y LÍNEAS FUTURAS

Los edificios inteligentes se han desarrollado en gran medida como contenedores de tecnologías inteligentes que van evolucionando, en parte, como consecuencia de desafíos de diseño y la adecuación a las necesidades actuales de la persona [36]. Sin embargo, la realidad en que vivimos día a día es otra, por lo tanto los siguientes estudios deben enfocarse en la búsqueda de la Integración de los SINAI estudiados y ya conocidos, de tal forma que puedan ser más comerciales y ser de uso genérico.

Existen actualmente estudios sobre prototipos [37] para fomentar la innovación en cuanto al diseño arquitectónico, buscando una arquitectura inteligente que apoye al comportamiento eficiente del edificio y al uso de energías renovables [81]

## 11. CONCLUSIONES

Las características arquitectónicas del ambiente interior y las características arquitectónicas externas del edificio constituyen un pie forzado en la rehabilitación de edificios. La comparación de los SINAI para edificaciones existentes demuestra la potencialidad de la iluminación natural en ambientes interiores para ahorrar el consumo de energía asociado a la iluminación eléctrica y a sus cualidades como sistemas que aseguren la Eficiencia Energética en los edificios existentes. Sin embargo, es necesario el cálculo para un sitio específico y con condiciones climáticas específicas.

- ✓ Existe basta información sobre los SINAI, sobre las tipologías en general y el estudio específico de un sistema. Sin embargo, hasta el momento no se logra una expresión clara sobre los beneficios de utilizar estos sistemas.
- ✓ El confort térmico y la salud están directamente relacionados con el rendimiento visual. Estos factores deben ser considerados en un SINAI, los cuales deben ser medidos a través de estándares de Calidad de los SINAI. A la fecha no existe una medición internacional específica para este campo por dos situaciones:
  - A. Es imposible medir o cuantificar las necesidades y la comodidad del usuario, porque son sensaciones que varían con la persona.
  - B. Los SINAI son estudiados para un zona y clima específico, si es que se desea el mejor comportamiento energético del sistema.

Sin embargo, sería bueno que existiese un tipo de medición básica para limitar las condiciones mínimas necesarias que debe cumplir un SINAI. De las tablas mostradas en el Ítem de Cruce de información e Interpretación, los segmentos Nº 13 y 16 no son definitivos, pues están tomados de referencias de años anteriores y en la mayoría de los casos no se encontró información alguna. También es preciso mencionar, que si se desea hacer una comparación más precisa se deberá hacer un estudio de mercado real en una aplicación real.

De los estudios de investigación abordados, se puede dividir en dos grande grupos: los realizados hasta el año 2002 más o menos son estudios básicos sobre la identificación de estos sistemas y cómo funcionan. A partir de año 2002, se realizan prototipos o ensayos mejorando estos sistemas y haciéndolos más eficientes. Estos sistemas si bien es cierto son demasiados, así como sus aplicaciones y las tipologías. Muy pocos son puestos al mercado, y los que son puestos al mercado, en su mayoría corresponden a lugares con adquisición económica bastante, capaces de comprar el sistema. Dejando de



lado a aquella población que necesita de este sistema. Los sistemas han ido evolucionando, sin embargo, no se toma en cuenta la integración en los edificios de menor rango económico. Además, por lo general, los costos de estos sistemas son caros. Entonces, es entendible que dentro de las actividades cotidianas realizadas para la rehabilitación Energética en España, no se considere estos SINAI, estando aun incluso, dentro de las acciones urgente o en la estrategia de rehabilitación a largo plazo. Es preciso entonces buscare una forma eficiente y un sistema para cada espacio, que cumpla las características siguientes: que no sea caro, o por lo menos pagado en cuotas, a largo plazo sea rentable, y que sea apto para aplicar en edificios existentes y que se ponga a conocimiento de la población en general.

Se ha visto que los sistemas pueden combinarse, la mayoría de estos. Pudiendo utilizar sistemas de fachada y sistemas en la cubierta, de acuerdo a las exigencias, así como sistemas que puedan ser utilizados también con energía eléctrica.

Resulta sorprendente el escaso conocimiento de este tema por parte de los profesionales de la construcción por lo que como conclusión final se considera que este estudio puede servir de base para posteriores estudios del tema con mayor especificidad que puedan ser llevados a cabo en la EHU-UPV, además de trabajos en relación a la Integración de estos SINAI en las edificaciones de la comunidad del País Vasco.

## 12. BIBLIOGRAFIA

- [1] *la Comisión. Eficiencia Energética: alcanzar el objetivo del 20%*. COMISION DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Bruselas, 13.11.2008 COM (2008) 772 final.
- [2] LESLIE, R., RADETSKY, L. and SMITH, A., 2012. Conceptual Design Metrics for Daylighting. *Lighting Research and Technology*, Sep 2012, vol. 44, no. 3, pp. 277-290. Available from: <http://linksource.elsevier.com/linking.aspx?sid=ProQ%253Asciencejournals&fmt=journal&genre=article&issn=14771535&volume=44&issue=3&date=2012-09-01&spage=277&title=Lighting+Research+and+Technology&atitle=Conceptual+design+metrics+for+daylighting&au=Leslie%252C+RP%253BRadetsky%252C+LC%253BSmith%252C+AM&isbn=&jtitle=Lighting+Research+and+Technology&bttitle=&id=doi:10.1177%252F1477153511423076>; <http://dx.doi.org/10.1177/1477153511423076> ProQuest Central. ISSN 14771535. DOI <http://dx.doi.org/10.1177/1477153511423076>.
- [3] ANDERSEN, M., 2015. Unweaving the Human Response in Daylighting Design. *Building and Environment*, 9, vol. 91, pp. 101-117. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315001237> ISSN 0360-1323. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.014>.
- [4] GALASIU, A.D. and VEITCH, J.A., 2006. Occupant Preferences and Satisfaction with the Luminous Environment and Control Systems in Daylit Offices: A Literature Review. *Energy and Buildings*, 7, vol. 38, no. 7, pp. 728-742. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778806000624> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.001>.
- [5] IHM, P., NEMRI, A. and KRARTI, M., 2009. Estimation of Lighting Energy Savings from Daylighting. *Building and Environment*, 3, vol. 44, no. 3, pp. 509-514. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308000760> ISSN 0360-1323. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.04.016>.
- [6] DARULA, Stanislav; KITTLER, Richard. 2015. Classification of daylight conditions in cloud cover situations. *Light & Engineering*. vol. 23, n°1, pp. 4-14.
- [7] GAGO, E.J., MUNEER, T., KNEZ, M. and KÖSTER, H., 2015. Natural Light Controls and Guides in Buildings. Energy Saving for Electrical Lighting, Reduction of Cooling Load. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1, vol. 41, pp. 1-13. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114006777> ISSN 1364-0321. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.002>.
- [8] *Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes (Programa PAREER-CRECE)*. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía). Ministerio de Industria, energía y turismo. Año 2015. Página web: <http://www.idae.es/index.php/id.858/re/menu.409/mod.pags/mem.detalle>
- [9] *RESSEEPE (REtrofitting Solutions and Services for the enhancement of Energy Efficiency in Public Edification)*. RESSEEPE, proyecto del Séptimo Programa Marco (FP7-2013-NMP-ENV-EeB). Año 2013. Página web: <http://resseepe-project.eu/index.php>

- [10] *Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el sector de la Edificación en España, en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE*. MINISTERIO DE FOMENTO. Secretaria de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda. Junio 2014.
- [11] *Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España*. MINISTERIO DE FOMENTO. Año 2016. Fuente página web: [http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/PLANES/ELPRESEEEESP/](http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/PLANES/ELPRESEEEESP/)
- [12] *Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios*. MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA «BOE» núm. 89, de 13 de abril de 2013 Referencia: BOE-A-2013-3904. (TEXTO CONSOLIDADO Última modificación: sin modificaciones)
- [13] PREÁMBULO DE LA CONSTITUCIÓN DE LA OMS. Organización Mundial de la Salud, Conferencia Sanitaria Internacional. Nueva York del 19 de junio al 22 de julio de 1946 (entró en vigor el 7 de abril de 1948, a la fecha no ha sido modificada).
- [14] CONFORT AMBIENTAL. Victor A. Fuentes F. Universidad de Valladolid. 2013
- [15] DEL MAR, María; DOMINGO, José; RODRIGUEZ, Francisco; BERENGUEL, Manuel. *Comfort Control in Building*. Grinble, Michael; Johnson, Michael (editors). London: Springer London, 2014. 237 p. ISBN: 9781447163473
- [16] 12665 E (2002) *Light and lighting: Basic terms and criteria for specifying lighting requirements*. European Committee for Standardization, Brussels
- [17] ASHRAE (2009) *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. Refrigerating American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers, Seattle
- [18] HERNANDEZ, Rufino; IRULEGI, Olatz; ARANJUELO, María. *Arquitectura Ecoeficiente [Recurso electrónico]*. Tomo I. España, Universidad del País Vasco: Leioa: 2012. 340 p. Disponible en: [Conectar a https://web-argitalpena.adm.ehu.es/listaproductos.asp?IdProducts=UWLGAR6881](https://web-argitalpena.adm.ehu.es/listaproductos.asp?IdProducts=UWLGAR6881) ISBN: 9788498606881
- [19] NEILA GONZÁLEZ, Javier. *Acondicionamiento Ambiental y Habitabilidad del Espacio Arquitectónico*. 1ra ed. Madrid: Editorial Munilla-Lería, 2013. pp. 458. ISBN 978-84-89150-980
- [20] CIBSE (2002) *Code for Lighting*. The Society of Light and Lighting, Rich Hill. Disponible en : <http://www.cibse.org/society-of-light-and-lighting-sll/lighting-publications/free-downloads>
- [21] ZUMTOBEL. *The Lighting Handbook*. 4ª edición. Austria: Zumtobel Lighting GmbH: Dornbirn, 2013. Disponible en : [http://www.zumtobelgroup.com/en/investor\\_relations.htm](http://www.zumtobelgroup.com/en/investor_relations.htm) ISBN 978-3-902940-22-3
- [22] TAMURA, Cintia Akemi y & KRÜGER, Eduardo Leite. (2016). *Pilot study in a climatic chamber: daylight effects on aspects of health and wellbeing not related to vision*. *Ambiente Construído*, 16(2), 149-168. <https://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000200085>
- [23] EIA (International Energy Agency). *Daylight in Buildings, A source book on daylighting systems and components*. RUCK, N., Aydini, S., Cristoffersen, J., Courret, G., Edmonds, I., Jakobiak, R., Kischkoeit-Lopin, M., Lee, E., Michael, I., Scartezzini, J. and Selkowitz, S. (edición). USA: International Energy Agency, 2000. Disponible en: <http://www.iea-shc.org> LBNL: 47493

- [24] DARULA, S., CHRISTOFFERSEN, J. and MALIKOVA, M., 2015. Sunlight and Insolation of Building Interiors. *Energy Procedia*, 11, vol. 78, pp. 1245-1250. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215019980> ISSN 1876-6102. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.266>.
- [25] HANIFIN, J.P. and BRAINARD, G.C., 2007. Photoreception for Circadian, Neuroendocrine, and Neurobehavioral Regulation. *Journal of Physiological Anthropology*. Department of Neurology, Thomas Jefferson University ed., 2007, vol. 26, no. 2, pp. 87 Web of Cience.
- [26] LAN, L. and LIAN, Z., 2016. Ten Questions Concerning Thermal Environment and Sleep Quality. *Building and Environment*, 4, vol. 99, pp. 252-259. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316300178> ISSN 0360-1323. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.01.017>.
- [27] AJAJI, Y. and ANDRÉ, P., 2015. Thermal Comfort and Visual Comfort in an Office Building Equipped with Smart Electrochromic Glazing: An Experimental Study. *Energy Procedia*, 11, vol. 78, pp. 2464-2469. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215019621> ISSN 1876-6102. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.230>
- [28] HARMATI, N. and MAGYAR, Z., 2015. Influence of WWR, WG and Glazing Properties on the Annual Heating and Cooling Energy Demand in Buildings. *Energy Procedia*, 11, vol. 78, pp. 2458-2463. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021501961X> ISSN 1876-6102. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.229>.
- [29] WHANG, A.J., CHEN, Y. and WU, B., 2009. Innovative Design of Cassegrain Solar Concentrator System for Indoor Illumination Utilizing Chromatic Aberration to Filter Out Ultraviolet and Infrared in Sunlight. *Solar Energy*, 8, vol. 83, no. 8, pp. 1115-1122. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X08003502> ISSN 0038-092X. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2008.12.013>.
- [30] TSAI, MC., WHANG, AJW, LEE, TX. Desing of a high-efficiency collection structural daylight illumination applications. *Journal Citation Reports*. Natl Taiwan Univ Sci & Technol, Grad Inst Color & Illuminat Technol, 43,Sec 4,Keelung Rd, Taipei 106, Taiwan. 2013, vol. 52, n°36, pp. 8789 – 8794. Web of Cience. DOI: 10.1364/AO.52.008789
- [31] CARUTASIU, M., et al, 2015. Reducing Energy Consumption in Low Energy Buildings through Implementation of a Policy System used in Automated Heating Systems. *Energy and Buildings*, 5/1, vol. 94, pp. 227-239. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815002005> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.008>.
- [32] Passive House Institute. < <http://passiv.de/en/> > [Consulta: 2015]
- [33] DARULA, S.; KITTLER, R; MALIKOVA, M. EN criteria for evaluation of daylight interiors. *Energy & Fuels; Construction & Building Technology; Instruments & Instrumentation; Engineering*. 2014. vol. 899, pp. 307-14. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.899.307
- [34] FERREIRA, M. and ALMEIDA, M., 2015. Benefits from Energy Related Building Renovation Beyond Costs, Energy and Emissions. *Energy Procedia*, 11, vol. 78, pp. 2397-2402. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215019311> ISSN 1876-6102. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.199>.

- [35] NAIR, M; RAMAMURTHY, K. and GANESAN, A., 2014. Classification of Indoor Daylight Enhancement Systems. *Lighting Research and Technology*, Jun 2014, vol. 46, no. 3, pp. 245-267. Available from: <http://linksource.ebsco.com/linking.aspx?sid=ProQ%253Asciencejournals&fmt=journal&genre=article&issn=14771535&volume=46&issue=3&date=2014-06-01&spage=245&title=Lighting+Research+and+Technology&atitle=Classification+of+indoor+daylight+enhancement+systems&au=Nair%252C+MG%253BRamamurthy%252C+K%253BGanesan%252C+AR&isbn=&jtitle=Lighting+Research+and+Technology&bttitle=&id=doi:10.1177%252F1477153513483299>; <http://dx.doi.org/10.1177/1477153513483299> ProQuest Central. ISSN 14771535. DOI <http://dx.doi.org/10.1177/1477153513483299>.
- [36] KISCHKOWEIT LOPIN, M., 2002. An Overview of Daylighting Systems. *Energy & Fuels*, 2002, vol. 73, no. 2, pp. 77 WEB OF CIENCIE. ISSN 0038-092X.
- [37] MERESI, A., 2016. Evaluating Daylight Performance of Light Shelves Combined with External Blinds in South-Facing Classrooms in Athens, Greece. *Energy and Buildings*, 3/15, vol. 116, pp. 190-205. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816300093> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.009>.
- [38] CIE. Spatial distribution of daylight standard general sky. ISO 15469. 2ª edición. Switzerland: ISO copyright office, 2004
- [39] GARCIA-HANSEN, V., ESTEVES, A. and PATTINI, A., 2002. Passive Solar Systems for Heating, Daylighting and Ventilation for Rooms without an Equator-Facing Facade. *Renewable Energy*, 5, vol. 26, no. 1, pp. 91-111. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148101000891> ISSN 0960-1481. DOI [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00089-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00089-1).
- [40] PONMALAR, V. and RAMESH, B., 2014. Energy Efficient Building Design and Estimation of Energy Savings from Daylighting in Chennai. *Energy Engineering*, vol. 111, no. 4, pp. 59-66,69-80. Available from: <http://linksource.ebsco.com/linking.aspx?sid=ProQ%253Asciencejournals&fmt=journal&genre=article&issn=01998595&volume=111&issue=4&date=2014-07-01&spage=59&title=Energy+Engineering&atitle=Energy+Efficient+Building+Design+and+Estimation+of+Energy+Savings+From+Daylighting+in+Chennai&au=Ponmalar%252C+V%253BRamesh%252C+B&isbn=&jtitle=Energy+Engineering&bttitle=&id=doi> ProQuest Central. ISSN 01998595.
- [41] GONZALEZ, R.; PEREZ, L.; BRAVO, G.; GONZALES, E.; TSOI, E, 2006. Daylighting of buildings: Theoretical methodological proposal for the characterization and evaluation of spaces. *Engineering, Multidisciplinary*. Vol. 29, no. 3, pp. 235-250. ISSN: 0254-0770
- [42] KUNJARANAAYUDHYA, Indhava. "The design of daylight-transporting systems for Seep Space Illumination". Tesis de Master [Master of Science in Architecture]. Directores: James Jhones, Robert Dunay y Robert Schubert. Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia. 2015
- [43] The Zumtobel Group. The Lighting Handbook [en línea]. Dornbirn, AUSTRIA: Zumtobel Lighting GmbH, 4ta ed. (ref octubre 2013). Disponible en Web: <http://www.zumtobel.com/PDB/teaser/EN/lichthandbuch.pdf>

- [44] AENOR. Iluminación de los lugares de trabajo, Parte 1: lugares de trabajo en interiores. UNE-EN 12464-1. 1ª edición. Madrid: AENOR, 2003
- [45] CIE. Standard General Sky Guide. CIE 215:2014. Vienna, AUSTRIA: CIE, 2014. Disponible en Web: [http://www.cie.co.at/index.php?i\\_ca\\_id=966](http://www.cie.co.at/index.php?i_ca_id=966) ISBN 978-3-902842-54-1
- [46] WOLF, CECCI, Cecilia. “Estrategias, sistemas y tecnologías para el uso de luz natural y su aplicación en la rehabilitación de edificios históricos”. Tesis Doctoral. Directores: Pilar Oteiza San José, Dra. Arquitecta y Julio Pozuela Echavarrri, Dr. Ingeniero de Caminos. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura se Madrid. España. 2014
- [47] YAÑEZ PARAREDA, Guillermo. Arquitectura solar & Iluminación Natural. Editorial Munilla-Lería (ed. lit.). Madrid: Editorial Munilla-Lería, 2008. pp. 611. ISBN-978-84-89150-81-2
- [48] Daylighting in architecture: A European reference book. Comission of the european communities (Directorate-general XII Science; research and development): Earthscan Publications Ltd, 1993. 380 p. ISBN-13:978-1873936214
- [49] ROCKCASTLE, Siobhan and ANDERSEN, Marilyne. Annual dynamics os faylight variability and constrast [en línea]. [London Heidelberg New York Dordrecht]: Springer London, 2013. Disponible en Web: <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4471-5233-0>
- [50] TIPLER, Paul; MOSCA, Gene. *Física para la Ciencia y la Tecnología. Electricidad y Magnetismo / Luz*. Título original: Physics for Scientists and Engineers. Dr. José Casas-Vásquez (Coordinador y traductor, versión español). 6ta ed.. España: Editorial Reverté S.A., 2010. Vol. II, pp. 693-1172. ISBN 978-84-291-4430-7
- [51] GARCIA-HANSEN, V. and EDMONDS, I., 2015. Methods for the Illumination of Multilevel Buildings with Vertical Light Pipes. *Solar Energy*, 7, vol. 117, pp. 74-88. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X15002054> ISSN 0038-092X. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.04.017>.
- [52] LAOUADI, A., GALASIU, A.D., SABER, H.H. and ARSENAULT, C., 2013. Tubular Daylight Devices. Part I: Development of a Optical Model (1415\_RP). *Construction & Building Technology*. Taylos & Francis INC ed., 2013, vol. 19, no. 5, pp. 536 Web of Science. ISSN 1078-9669. DOI 10.1080/10789669.2013.803401.
- [53] CARBONARA, G., 2015. Energy Efficiency as a Protection Tool. *Energy and Buildings*, 5/15, vol. 95, pp. 9-12. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814011256> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.052>.
- [54] Comité de Edificación del EII (Instituto de la Ingeniería de España), ATECYR y AEDICI. I Jornada sobre la situación presente y futuro de la Rehabilitación Energética de edificios en España [Grabación audiovisual]. Madrid: EII, 21 de enero del 2016. Disponible en web: <https://www.youtube.com/watch?v=PEJnbTI9fW0>
- [55] España. Orden FOM/1635/2013, del 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, 12 de setiembre de 2013, núm. 219, sec. I, p. 67137.
- [56] Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020. España
- [57] GABROVA, Lenka, 2014. Effect of Light Reflectance of External Surfaces on Daylight [9th International enviBUILD Conference]. *Advanced Material Research*. vol. 1041, pp. 399-402. ISSN: 1022-6680. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1041.399

- [58] FERNANDES, J.T.; AMORIN, C.N.D.; SOUSA, J.A.B. “Lighting and daylighting quality: Critical review of criteria and recommendations and its insertion in Brazilian context”. CIE. *Centenary Conference on Towards a New Century of Light*. Paris, France 2013, pp. 267-275. ISBN: 978-3-902842-44-2
- [59] MILLS, E.; BORG, N. Trends in recommended illuminance levels: An international comparison. *Journal of the Illuminating Engineering Society* [en línea]. 2013, vol. 28, no. 1, pp. 155-+. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/261729104\\_Trends\\_in\\_Recommended\\_Illuminance\\_Levels\\_An\\_International\\_Comparison](https://www.researchgate.net/publication/261729104_Trends_in_Recommended_Illuminance_Levels_An_International_Comparison). ISSN: 0099-4480
- [60] DEHOFF, P. Lighting quality and energy efficiency is not a Contradiction. *Light & Engineering* [en línea]. 2012, vol. 20, no. 3, pp. 34-39. ISSN: 0236-2945
- [61] CIE. Lighting of indoor work places. ISO 8995, CIE S008/E. 2ª ed. Vienna: ISO copyright office, 2002. 2
- [62] SUN, C., GILES, H. and LIAN, Z., 2016. Parametric Regression Model for Lighting Calibration. *Indoor and Built Environment*, April 01, vol. 25, no. 2, pp. 407-423. Available from: <http://ibe.sagepub.com/content/25/2/407.abstract> DOI 10.1177/1420326X15585859.
- [63] PERINO, M., et al, 2015. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015 Methods to Evaluate Lighting Quality in Educational Environments. *Energy Procedia*, November 2015, vol. 78, pp. 3138-3143. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215025023> ISSN 1876-6102. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.770>.
- [64] NORMA ISO 3864
- [65] HELLER, Eva. Psicología del Color. Joaquín Chamorro Mielke (traductor)\*. 1ra ed. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SA, 2005. pp. 309. ISBN: 84-252-1977-9
- [66] PENNA, P., PRADA, A., CAPPELLETTI, F. and GASPARELLA, A., 2015. Multi-Objectives Optimization of Energy Efficiency Measures in Existing Buildings. *Energy and Buildings*, 5/15, vol. 95, pp. 57-69. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814009281> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.003>.
- [67] EICKER, U., DEMIR, E. and GÜRLICH, D., 2015. Strategies for Cost Efficient Refurbishment and Solar Energy Integration in European Case Study Buildings. *Energy and Buildings*, 9/1, vol. 102, pp. 237-249. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815300074> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.032>
- [68] GIANCOLA, E., SOUTULLO, S., OLMEDO, R. and HERAS, M.R., 2014. Evaluating Rehabilitation of the Social Housing Envelope: Experimental Assessment of Thermal Indoor Improvements during Actual Operating Conditions in Dry Hot Climate, a Case Study. *Energy and Buildings*, 6, vol. 75, pp. 264-271. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814001212> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.010>.
- [69] ROMERO, Jesús. Un análisis sistemático de los parámetros urbanísticos de la edificación. *Architecture, City and Environment* [en línea]. 2013, no. 22 [ref. 2013-06-22], pp. 45-76. Disponible sur Internet: [http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles\\_n22/articles\\_pdf/ACE\\_22\\_SA\\_11.pdf](http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n22/articles_pdf/ACE_22_SA_11.pdf). ISSN: 1886-1805

- [70] PRESIDENCIA Y CONSELLERIAS DE LA GENERALITAT VALENCIANA. ORDEN de 26 de abril de 1999, del conseller de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte, por el que se aprueba el Reglamento de Zonas de Ordenación Urbanística de la Comunidad Valenciana – RZU (1999/L3917). Valencia: Diario Oficial de la Generalitat Valenciana [edición electrónica]. 1999
- [71] GOBIERNO VASCO. ANEJO I. Ordenanzas Municipales de Edificación. Disposición Final Segunda de la Ley 2-2006 del 30 de junio, de Suelo y Urbanismo. Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco. Vitoria, 2006
- [72] BOE. Código de Urbanismo del País Vasco. Edición actualizada a 23 de mayo del 2016 [edición electrónica]. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2016. Disponible sur Internet: [www.boe.es/legislacion/codigos/](http://www.boe.es/legislacion/codigos/)
- [73] IVE. Catálogo Tipología Edificatoria Residencial. Ambito: España [en línea]. Madrid: Instituto Valenciano de la Edificación, 15 de marzo 2016. Disponible sur Internet: <http://www.five.es/inicio/rehabilitacion/1089-catalogo-tipologia-edificatoria-residencial.html>
- [74] IIEE. EPISCOPE. Residential Building Typology - IIEE Project [en línea]. Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimization of Refurbishment Processes in European Housing Stocks. Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2014 [ref. 2016]. Disponible sur Internet: <http://episcope.eu/welcome/>
- [75] IVE. TABULA Desarrollo de una clasificación tipológica de edificios para la evaluación energética de los edificios residenciales en 13 países europeos – IIEE Project [en línea]. Valencia: Fundación IVE, 2012 [ref. 29 de octubre 2012]. Disponible sur Internet: <http://www.five.es/inicio/579-tabula.html>
- [76] CTE. *Código Técnico de la Edificación* [en línea]. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC. [ref. 2015]. Disponible en Web: <http://www.codigotecnico.org/index.php>
- [77] CEOE. *La rehabilitación de edificios como motor de crecimiento y empleo* [en línea]. Confederación de Organizaciones Empresariales – Comisión de Infraestructuras y Urbanismo [ref. septiembre 2014]. Disponible en Web: [http://contenidos.ceoe.es/resources/image/rehabilitacion\\_edificios\\_motor\\_crecimiento\\_empleo\\_2014.pdf](http://contenidos.ceoe.es/resources/image/rehabilitacion_edificios_motor_crecimiento_empleo_2014.pdf)
- [78] Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo; Ministerio de Fomento. *Observatorio de vivienda y suelo. Boletín Especial Censo 2011 – Parque edificatorio* [en línea]. Centro de Publicaciones Secretaria General Técnica, Ministerio de Fomento. 1ª ed. [ref. abril 2014]. Disponible en Web: <http://publicacionesoficiales.boe.es>
- [79] BOYCE, Peter and RAYNHAM, Peter. *The SLL Lighting Handbook*. Boreham, Stuart (editor), Hadley, Peter (editor). 1ª ed. England: The Society of Light and Lighting - CIBSE, 2009. pp. 302. ISBN 978-1-906846-02-2
- [80] España. Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana. Boletín Oficial del Estado, 31 de octubre de 2015, núm. 261, sec. I, p. 103263
- [81] KRONER, W.M., 1997. An Intelligent and Responsive Architecture. *Automation in Construction*, 9, vol. 6, no. 5–6, pp. 381-393. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580597000174> ISSN 0926-5805. DOI [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805\(97\)00017-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805(97)00017-4).



- [82] KIM, G., et al, 2012. Comparative Advantage of an Exterior Shading Device in Thermal Performance for Residential Buildings. *Energy and Buildings*, 3, vol. 46, pp. 105-111. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811005032> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.040>.
- [83] HASHEMI, A., 2014. Daylighting and Solar Shading Performances of an Innovative Automated Reflective Louvre System. *Energy and Buildings*, 10, vol. 82, pp. 607-620. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814006355> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.086>.
- [84] MERESI, A., 2016. Evaluating Daylight Performance of Light Shelves Combined with External Blinds in South-Facing Classrooms in Athens, Greece. *Energy and Buildings*, 3/15, vol. 116, pp. 190-205. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816300093> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.01.009>.
- [85] LIM, Yaik-Wah and AHMAD, M.H., 2015. The effects of direct sunlight on light shelf performance under tropical sky. *Indoor and built Environment*, 6, vol. 24, pp. 788-802. Available from: <http://ibe.sagepub.com/content/24/6/788.full.pdf+html> ISSN 1420-326X. DOI 10.1177/1420326X14536066
- [86] BERARDI, U. and ANARAKI, H.K., 2015. Analysis of the Impacts of Light Shelves on the Useful Daylight Illuminance in Office Buildings in Toronto. *Energy Procedia*, 11, vol. 78, pp. 1793-1798. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215020421> ISSN 1876-6102. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.310>.
- [87] JEONG TAI KIM, and KIM, G., 2010. Advanced External Shading Device to Maximize Visual and View Performance. *Indoor and Built Environment*, February 01, vol. 19, no. 1, pp. 65-72. Available from: <http://ibe.sagepub.com/content/19/1/65.abstract> DOI [10.1177/1420326X09358001](http://dx.doi.org/10.1177/1420326X09358001).
- [88] PERINO, M., CORRADO, V., CHAN, Y. and TZEMPELIKOS, A., 2015. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015 Daylighting and Energy Analysis of Multi-Sectional Facades. *Energy Procedia*, November 2015, vol. 78, pp. 189-194. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215018706> ISSN 1876-6102. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.138>.
- [89] HAN, Seung-Hoon, 2015. Energy Sustainability of an Integrative Kinetic Light Shelf Unit. *KIEAE Journal*, 3, vol. 15, pp. 15-20. Available from: [http://koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=STHGBY\\_2015\\_v15n3\\_15](http://koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=STHGBY_2015_v15n3_15) DOI: 10.12813/kieae.2015.15.3.015
- [90] Choi, Y.; Lee, H.; Seo, J. and Kim, Y., 2014. Performance Evaluation of Energy Reduction of Light Shelf Applying Punching Plate. *KIEAE Journal*, 6, vol. 14, pp. 5-13. Available from: [http://koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=STHGBY\\_2014\\_v14n6\\_5](http://koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=STHGBY_2014_v14n6_5) DOI: 10.12813/kieae.2014.14.6.005
- [91] HUANG, Y. and NIU, J., 2015. Energy and Visual Performance of the Silica Aerogel Glazing System in Commercial Buildings of Hong Kong. *Construction and Building Materials*, 9/30, vol. 94, pp. 57-72. Available from:

- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181530009X> ISSN 0950-0618. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.053>.
- [92] ZHAO, J., et al, 2013. Optical and Radiative Properties of Infrared Opacifier Particles Loaded in Silica Aerogels for High Temperature Thermal Insulation. *International Journal of Thermal Sciences*, 8, vol. 70, pp. 54-64. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1290072913000641> ISSN 1290-0729. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2013.03.020>.
- [93] GAO, T., et al, 2016. Perspective of Aerogel Glazings in Energy Efficient Buildings. *Building and Environment*, 1, vol. 95, pp. 405-413. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315301402> ISSN 0360-1323. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.001>.
- [94] DOWSON, M., PEGG, I., HARRISON, D. and DEHOUCHE, Z., 2012. Predicted and in Situ Performance of a Solar Air Collector Incorporating a Translucent Granular Aerogel Cover. *Energy and Buildings*, 6, vol. 49, pp. 173-187. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812000825> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.007>.
- [95] GARNIER, C., MUNEER, T. and MCCAULEY, L., 2015. Super Insulated Aerogel Windows: Impact on Daylighting and Thermal Performance. *Building and Environment*, 12, vol. 94, Part 1, pp. 231-238. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315300901> ISSN 0360-1323. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.009>.
- [96] HUANG, T., et al, 2015. Design and Fabrication of Sunlight-Redirecting and Infrared-Insulating Microstructure. *Energy and Buildings*, 3/1, vol. 90, pp. 114-126. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814011244> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.051>.
- [97] LORENZ, W., 2001. A Glazing Unit for Solar Control, Daylighting and Energy Conservation. *Solar Energy*, vol. 70, no. 2, pp. 109-130. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X00001328> ISSN 0038-092X. DOI [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00132-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00132-8).
- [98] YEH, S., 2014. A Natural Lighting System using a Prismatic Daylight Collector. *Lighting Research and Technology*, Oct 2014, vol. 46, no. 5, pp. 534-547. Available from: <http://linksource.ebsco.com/linking.aspx?sid=ProQ%253Asciencejournals&fmt=journal&genre=article&issn=14771535&volume=46&issue=5&date=2014-10-01&spage=534&title=Lighting+Research+and+Technology&atitle=A+natural+lighting+system+using+a+prismatic+daylight+collector&au=Yeh%252C+S-C&isbn=&jtitle=Lighting+Research+and+Technology&bttitle=&id=doi:10.1177%252F1477153514523637>; <http://dx.doi.org/10.1177/1477153514523637> ProQuest Central. ISSN 14771535. DOI <http://dx.doi.org/10.1177/1477153514523637>.
- [99] LAOUADI, A., GALASIU, A.D., SABER, H.H. and ARSENAULT, C., 2013. Tubular Daylight Devices. Part I: Development of a Optical Model (1415\_RP). *Construction & Building Technology*. Taylos & Francis INC ed., 2013, vol. 19, no. 5, pp. 536 Web of Science. ISSN 1078-9669. DOI 10.1080/10789669.2013.803401.
- [100] VIREECK, V.; ACKERMANN, J.; LI, Q.; JÄKEL, A.; SCHMID, J.; HILMER, H. Sun glasses for buildings based on micro mirror arrays: technology, control by networked sen

- sors and scaling potential. *Proceedings of the 5th International Conference on Networked Sensing Systems*. INSS' 2008, Kanazawa, 2008, pp. 135–139.
- [101] LABIB, R., 2013. Improving Daylighting in Existing Classrooms using Laser Cut Panels. *Lighting Research and Technology*, Oct 2013, vol. 45, no. 5, pp. 585-598. Available from: <http://linksource.ebsco.com/linking.aspx?sid=ProQ%253Asciencejournals&fmt=journal&genre=article&issn=14771535&volume=45&issue=5&date=2013-10-01&spage=585&title=Lighting+Research+and+Technology&atitle=Improving+daylighting+in+existing+classrooms+using+laser+cut+panels&au=Labib%252C+Rania&isbn=&jtitle=Lighting+Research+and+Technology&bttitle=&id=doi:10.1177%252F1477153512471366> ProQuest Central. ISSN 14771535. DOI <http://dx.doi.org/10.1177/1477153512471366>.
- [102] NAIR, M., GANESAN, A. and RAMAMURTHY, K., 2015. Daylight Enhancement using Laser Cut Panels Integrated with a Profiled Fresnel Collector. *Lighting Research and Technology*, Dec 2015, vol. 47, no. 8, pp. 1017-1028. Available from: <http://linksource.ebsco.com/linking.aspx?sid=ProQ%253Asciencejournals&fmt=journal&genre=article&issn=14771535&volume=47&issue=8&date=2015-12-01&spage=1017&title=Lighting+Research+and+Technology&atitle=Daylight+enhancement+using+laser+cut+panels+integrated+with+a+profiled+Fresnel+collector&au=Nair%252C+M+G%253BGanesan%252C+AR%253BRamamurthy%252C+K&isbn=&jtitle=Lighting+Research+and+Technology&bttitle=&id=doi:10.1177%252F1477153514556524> ProQuest Central. ISSN 14771535. DOI <http://dx.doi.org/10.1177/1477153514556524>.
- [103] EDMONDS IR. *Production of laser cut light deflecting system comprises cooling molds and laser cut truncated cone, and joining radial edges of laser cut truncated cone using clear adhesive or mechanical fixing*. NOVELTY. AU200237031-A. 05 December 2002
- [104] FREEWAN, A.A., 2015. Developing Daylight Devices Matrix with Special Integration with Building Design Process. *Sustainable Cities and Society*, 7, vol. 15, pp. 144-152. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670714001188> ISSN 2210-6707. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.11.003>.
- [105] VICTORIA, M.y EVANS, J., Sistemas innovativos para el direccionamiento de luz natural películas holográficas y lumiductos . *Centro de Investigación Hábitat y Energía CIHE – SICyT*, vol. 6, nº 2. ISSN 0329-5184
- [106] COURRET, G., SCARTEZZINI, J., FRANCIOLI, D. and MEYER, J., 1998. Design and Assessment of an Anidolic Light-Duct. *Energy and Buildings*, 8, vol. 28, no. 1, pp. 79-99. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778897000662> ISSN 0378-7788. DOI [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00066-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00066-2).
- [107] LINHART, F., WITTKOPF, S.K. and SCARTEZZINI, J., 2010. Performance of Anidolic Daylighting Systems in Tropical Climates – Parametric Studies for Identification of Main Influencing Factors. *Solar Energy*, 7, vol. 84, no. 7, pp. 1085-1094. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X10000277> ISSN 0038-092X. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.01.014>.
- [108] SCARTEZZINI, J. and COURRET, G., 2002. Anidolic Daylighting Systems. *Solar Energy*, 8, vol. 73, no. 2, pp. 123-135. Available from:

- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X02000403> ISSN 0038-092X. DOI [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(02\)00040-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(02)00040-3).
- [109] MAYHOUB, M.S., 2014. Innovative Daylighting Systems' Challenges: A Critical Study. *Energy and Buildings*, 9, vol. 80, pp. 394-405. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814003193> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.019>.
- [110] BOCCIA, O. and ZAZZINI, P., 2015. Daylight in Buildings Equipped with Traditional Or Innovative Sources: A Critical Analysis on the use of the Scale Model Approach. *Energy and Buildings*, 1, vol. 86, pp. 376-393. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814008238> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.003>.
- [111] [A86] GARCIA HANSEN, V.1, EDMONDS, I.2, BELL, J. M.3. Improving Daylighting Performance of Mirrored Light Pipes, Passive vs. active collection systems. *PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009* ISchool of Design, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
- [112] KENNEDY, D.M. and O'ROURKE, F., 2015. Experimental Analysis of a Scaled, Multi-Aperture, Light-Pipe, Daylighting System. *Solar Energy*, 12, vol. 122, pp. 181-190. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X15004491> ISSN 0038-092X. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.08.013>.
- [113] WEI-FENG, H., YI-TA, S. and I-LIN, C., 2012. Asymmetric and Symmetric Light Couplers of Daylighting Systems for Direct Indoor Lighting. *Nuclear Information Newsletter*. IAEA ed., 2012, vol. 14, no. 12, pp. 125703 Web of Science. DOI 10.1088/2040-8978/14/12/125703.
- [114] LAOUADI, A., SABER, H.H. and GALASIU, A.D., 2013. Optical Model for Tubular Hollow Light Guides (1415-RP). *Construction & Building Technology*, 2013, vol. 19, no. 3, pp. 324 WEB OF SCIENCE. ISSN 1078-9669.
- [115] LAOUADI, A., GALASIU, A.D., SABER, H.H. and ARSENAULT, C., 2013. Tubular Daylight Devices. Part I: Development of a Optical Model (1415\_RP). *Construction & Building Technology*. Taylos & Francis INC ed., 2013, vol. 19, no. 5, pp. 536 Web of Science. ISSN 1078-9669. DOI 10.1080/10789669.2013.803401.
- [116] OH, S.J., et al, 2013. Computational Analysis on the Enhancement of Daylight Penetration into Dimly Lit Spaces: Light Tube Vs. Fiber Optic Dish Concentrator. *Building and Environment*, 1, vol. 59, pp. 261-274. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312002272> ISSN 0360-1323. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.025>.
- [117] CARTER, D., 2014. LRT Digest 2 Tubular Daylight Guidance Systems. *Lighting Research and Technology*, Aug 2014, vol. 46, no. 4, pp. 369-387. Available from: <http://linksource.ebsco.com/linking.aspx?sid=ProQ%253Asciencejournals&fmt=journal&genre=article&issn=14771535&volume=46&issue=4&date=2014-08-01&spage=369&title=Lighting+Research+and+Technology&atitle=LRT+Digest+2+Tubular+daylight+guidance+systems&au=Carter%252C+David&isbn=&jtitle=Lighting+Research+and+Technology&bttitle=&id=doi:10.1177%252F1477153514526081>;

- <http://dx.doi.org/10.1177/1477153514526081> ProQuest Central. ISSN 14771535. DOI <http://dx.doi.org/10.1177/1477153514526081>.
- [118] SWIFT, P.D., LAWLOR, R., SMITH, G.B. and GENTLE, A., 2008. Rectangular-Section Mirror Light Pipes. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 8, vol. 92, no. 8, pp. 969-975. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024808000810> ISSN 0927-0248. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2008.02.029>.
- [119] KIM, J.T. and KIM, G., 2010. Overview and New Developments in Optical Daylighting Systems for Building a Healthy Indoor Environment. *Building and Environment*, 2, vol. 45, no. 2, pp. 256-269. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309002315> ISSN 0360-1323. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.024>.
- [120] GONZÁLEZ-PARDO, A., RODRÍGUEZ, A., GONZÁLEZ-AGUILAR, J. and ROMERO, M., 2014. Analysis of Solar Shading Caused by Building-Integrated Vertical Heliostat Fields. *Energy and Buildings*, 6, vol. 76, pp. 199-210. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814001200> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.009>.
- [121] HELIOBUS The daylight company. Dirección web: <http://www.heliobus.com/de/licht-engineering/light-pipe/>
- [122] WANG, C., ABDUL-RAHMAN, H. and RAO, S.P., 2010. Daylighting can be Fluorescent: Development of a Fiber Solar Concentrator and Test for its Indoor Illumination. *Energy and Buildings*, 5, vol. 42, no. 5, pp. 717-727. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778809002953> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.11.011>.
- [123] LINGFORS D. and VOLOTINEN T., "Illumination performance and energy saving of a solar fiber optic lighting system," Opt. Express **21**, A642-A655 (2013)
- [124] SAPIA, C., 2013. Daylighting in Buildings: Developments of Sunlight Addressing by Optical Fiber. *Solar Energy*, 3, vol. 89, pp. 113-121. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X12004185> ISSN 0038-092X. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.12.003>.
- [125] MUNAAIM, M.A.C.; AL-OBAIDI, K.M.; ISMAIL, M.R.; RAHMAN, A.M.A. Empirical Evaluation of the Effect of Heat Gain from Fiber Optic Daylighting System on Tropical Building Interiors. *Sustainability* 2014, 6, 9231-9243
- [126] HAN, H.J., RIFFAT, S.B., LIM, S.H. and OH, S.J., 2013. Fiber Optic Solar Lighting: Functional Competitiveness and Potential. *Solar Energy*, 8, vol. 94, pp. 86-101. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X13001503> ISSN 0038-092X. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.04.010>.
- [127] SONG, J., ZHU, Y., JIN, Z. and YANG, Y., 2014. Daylighting System Via Fibers Based on Two-Stage Sun-Tracking Model. *Solar Energy*, 10, vol. 108, pp. 331-339. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X14003703> ISSN 0038-092X. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.07.021>.
- [128] ULLAH, I. and SHIN, S., 2014. Highly Concentrated Optical Fiber-Based Daylighting Systems for Multi-Floor Office Buildings. *Energy and Buildings*, 4, vol. 72, pp. 246-261. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813008487> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.031>.

- [129] ARRANZ, B., RODRÍGUEZ-UBIÑAS, E., BEDOYA-FRUTOS, C. and VEGA-SÁNCHEZ, S., 2014. Evaluation of Three Solar and Daylighting Control Systems Based on Calumen II, Ecotect and Radiance Simulation Programmes to Obtain an Energy Efficient and Healthy Interior in the Experimental Building Prototype SD10. *Energy and Buildings*, 11, vol. 83, pp. 225-236. Available from:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814003582> ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.082>.
- [130] FENG, C., et al, 2015. A Novel Solar Multifunctional PV/T/D System for Green Building Roofs. *Energy Conversion and Management*, 3/15, vol. 93, pp. 63-71. Available from:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415000047> ISSN 0196-8904. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.001>.

## 13. ANEXOS

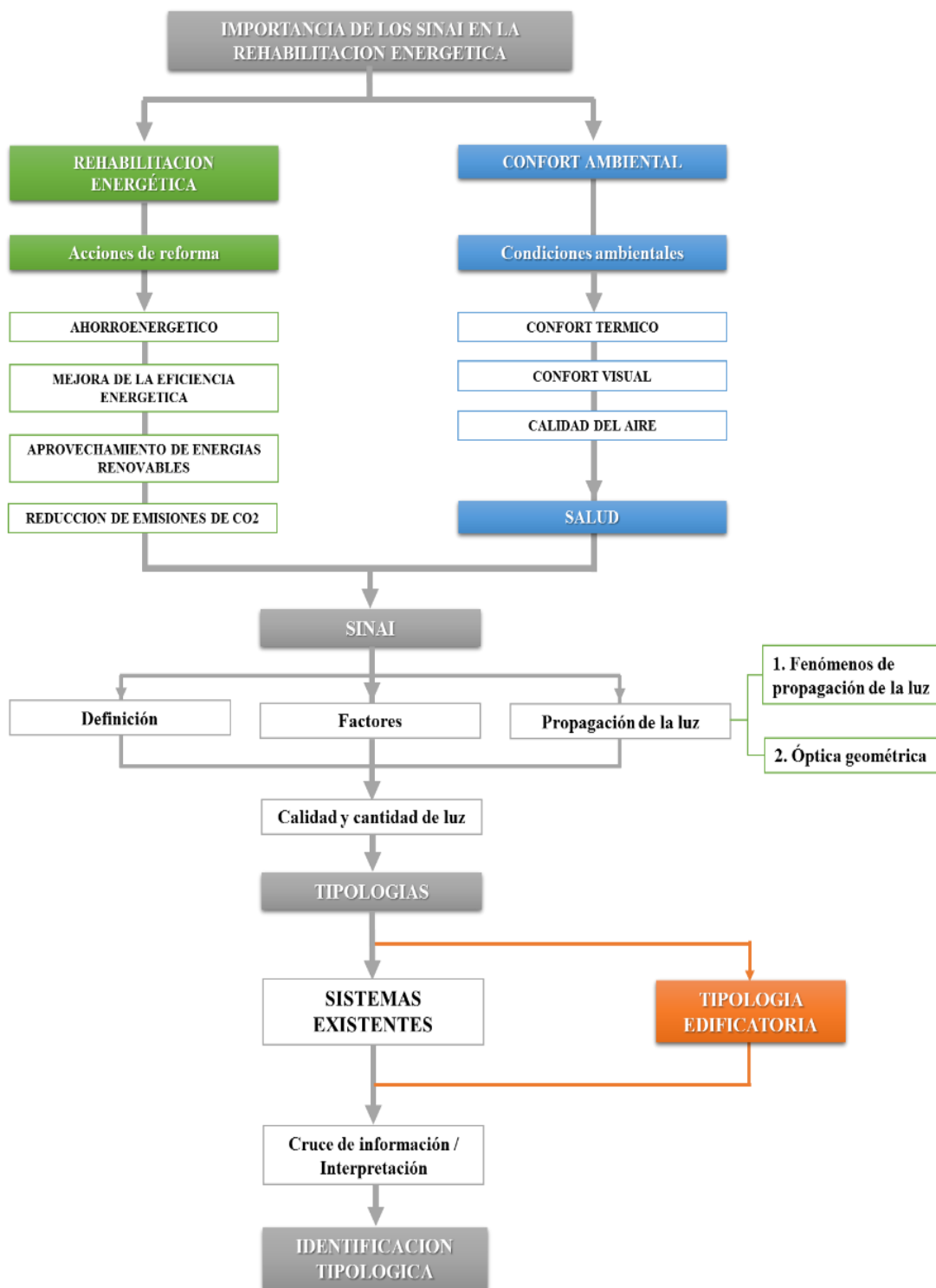
### Anexo A: Listado de Acrónimos

SINAI	: Sistemas de Iluminación Natural en Ambientes Interiores
ASC	: Agua Sanitaria Caliente
PAREER-CRECE	: Programa de Apoyo para la Rehabilitación Energética en el sector de la Edificación en España.
OMS	: Organización Mundial de la Salud
EPISCOPE	: "Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks" del programa Energía Inteligente Europa en el que el IVE

## **Anexo B:** Tablas y esquemas importantes



### Anexo B-1: Esquema de la importancia de la aplicación de los SINAI



**Anexo B-2: Caracterización energética del tipo: EDIFICIO PLURIFFAMILIAR**

TABULA – Instituto Valenciano de la Edificación



















## **Anexo B-3 PARAMETROS DE LOS SINAI Y SU APLICACIÓN EN LA TIPOLOGIA EDIFICATORIA EXISTENTE**

