

APLICABILIDAD DE TECNOLOGÍAS EN ILUMINACIÓN NATURAL PARA UNA
VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL TIPO

HECTOR YOHAN ADARME ROJAS
ANDERSON ALFONSO JAIMES GARCIA
HENCY HERNAN ROBALLO UMAÑA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2014

APLICABILIDAD DE TECNOLOGÍAS EN ILUMINACIÓN NATURAL PARA UNA
VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL TIPO

HECTOR YOHAN ADARME ROJAS
ANDERSON ALFONSO JAIMES GARCIA
HENCY HERNAN ROBALLO UMAÑA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTAR POR
EL TÍTULO DE INGENIERO ELÉTRICISTA

DIRECTOR:

M.Sc. GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO

CO-DIRECTOR:

PhD. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELECTRÍCA,
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2014

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director Germán Osma y codirector Gabriel Ordoñez, que con su ayuda fue posible la realización de éste trabajo de grado, agradecemos su colaboración y que Dios los bendiga.

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres Flor y Fausto por sus consejos, enseñanzas y apoyo incondicional, este logro es para ustedes.

A mi amada Tatiana, pilar, compañera y concejera en los buenos y malos momentos durante esta etapa de mi vida.

A mis hermanos William, Diego, Leonel, Carlos, por su compañía durante estos años.

A mis compañeros, por los momentos y experiencias compartidas.

“Sin sacrificio no hay recompensa”

Hector Yohan Adarme Rojas

A Dios por darme la fuerza y constancia para superar cada una de las dificultades que se presentaron en el transcurso de mi formación profesional.

*A mis padres, Alfonso y Martha, por darme la oportunidad de ser un profesional y brindarme todo su amor, comprensión y apoyo.
A mi hermana, Dyanitza, por darme alegría y cariño en todo momento.
A mis abuelos, Jesús y Carmen, por darme consejos y amor.*

*A mi tía, Yaneth, por darme amor y consejos en las dificultades.
A mis demás familiares que con su apoyo y cariño participaron indirectamente en esta etapa de mi vida.*

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí innumerables jornadas de estudio, dificultades y alegrías.

A mis profesores, gracias por su tiempo y conocimientos aportados en el transcurso de mi formación profesional.

A mi director Germán Osma y codirector Gabriel Ordoñez, que con su ayuda fue posible la realización de éste trabajo de grado, agradezco su colaboración y que Dios los bendiga.

Anderson Alfonso Jaimes García

A mis padres Marco Tulio Roballo y Elsa Isabel Umaña por su amor, y por la educación recibida en un hogar lleno de paz y armonía.

A mis hermanos y familiares por su colaboración, y comprensión durante este camino, el cual siempre me animaron a vencer las dificultades.

Al ingeniero German Alfonso Osma Pinto y el Doctor Gabriel Ordoñez Plata; por su colaboración, asesoría y por contribuir con mi formación personal y la terminación de este proyecto

A mis compañeros, amigos, profesores, por los momentos vividos, y las enseñanzas recibidas.

Hency Hernán Roballo Umaña

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	20
1. GENERALIDADES	23
1.1 USO RACIONAL DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	23
1.2 ILUMINACIÓN DE INTERIORES.....	23
1.3 ILUMINACIÓN NATURAL.....	23
1.4 BENEFICIOS DE LA LUZ NATURAL.....	24
1.5 CONSIDERACIONES SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL	25
2. ASPECTOS RELACIONADOS CON LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL – VIS	27
2.1 VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.....	27
2.2 ESTADO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	27
2.3 SUBSIDIOS SERVICIO PÚBLICOS DOMICILIARIOS.....	28
2.4 CONFORT LUMÍNICO VISUAL	28
2.5 CRITERIOS SELECCIÓN DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL TIPO	29
2.6 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA VIVIENDA SELECCIONADA.....	31
3. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ILUMINACIÓN NATURAL	33
3.1 POTENCIAL SOLAR DEL SITIO PARA ILUMINACIÓN.....	33
3.2 OBSTRUCCIONES CERCANAS A LA EDIFICACIÓN Y PERFILES DISPONIBLES PARA TOMA DE LUZ NATURAL.....	34
3.3 ÁREAS DISPONIBLES.....	35
3.4 CARACTERÍSTICAS A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN NATURAL	36

4. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL	37
4.1 SISTEMA CON SOMBREADO	37
4.2 SISTEMA SIN SOMBREADO	37
4.3 ACRISTALAMIENTO, ILUMINACIÓN NATURAL Y RADIACIÓN SOLAR	38
4.4 TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS	39
5. MODELADO VIRTUAL	41
5.1 DEFINICIÓN DEL MODELADO VIRTUAL	41
5.2 HERRAMIENTA PARA SIMULACIÓN VIRTUAL	41
5.3 METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN	42
5.4 CREACIÓN MODELO VIRTUAL VIVIENDA	42
5.5 MODELADO DE LAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN NATURAL.....	44
5.5.1 Tragaluz angular selectivo con panel cortado a laser.....	46
5.5.2 Claraboyas circulares	47
6. SIMULACIÓN ENERGÉTICA	50
7. ANÁLISIS FINANCIERO.....	54
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
9. CONCLUSIONES	62
10. RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS	66
BIBLIOGRAFIA.....	70
ANEXOS	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Subsidio según estrato socioeconómico [17]	28
Tabla 2. Niveles de iluminación según zonas y actividad [2].....	29
Tabla 3. Características proyecto seleccionado.....	30
Tabla 4. Recomendación elección tecnologías.....	40
Tabla 5. Características básicas modelos virtuales [18].....	45
Tabla 6. Dimensiones tragaluz angular [18].....	46
Tabla 7. Propiedades aluminio [18].....	47
Tabla 8. Propiedades y composición del acristalamiento [18]	49
Tabla 9. Consumo de energía eléctrica por iluminación.....	52
Tabla 10. Potencial ahorro económico.....	56
Tabla 11. Tiempo recuperación de la inversión.....	57
Tabla 12. Costo por ítem afectado por la ubicación de la tecnología	58
Tabla 13. Incremento en el costo directo de la vivienda.....	59
Tabla 14. Análisis financiero de viabilidad aplicación tecnologías.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Demanda energética año 2012 [6]	28
Figura 2. Vivienda real [18].	31
Figura 3 Emplazamiento vivienda tipo seleccionada con base en el modelo virtual creado en DesignBuilder [18].	32
Figura 4 Comportamiento histórico de la radiación solar en la ciudad de Bucaramanga [1].	33
Figura 5. Obstrucciones cercanas a la edificación [18].	34
Figura 6. Vista isométrica posición vivienda [18].	35
Figura 7. Flujo de energía a través de un cristal [24].	39
Figura 8. Metodología simulación [18].	42
Figura 9. Modelo virtual vivienda.	44
Figura 10. Tragaluz angular [18].	46
Figura 11. Vista isométrica ubicación tecnología [18]	47
Figura 12. Zonas segunda planta [18].	48
Figura 13. Vista isométrica ubicación tecnología [18]	48
Figura 14. Vista modelo acristalamiento [18]	49
Figura 15. Ocupación sitio	50
Figura 16. Iluminación natural disponible	51
Figura 17 Iluminación artificial	51
Figura 18. Comportamiento precio kWh para el año 2013	54

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.	EVALUACIÓN POTENCIAL DE ILUMINACIÓN.....	75
ANEXO B.	TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN NATURAL Y MODELOS VIRTULES DE TECNOLOGIAS.....	84
ANEXO D	RESULTADOS SIMULACIONES ENERGÉTICAS	121
ANEXO E	ANALISIS ECONOMICO	147

RESUMEN

TITULO:

APLICABILIDAD DE TECNOLOGÍAS EN ILUMINACIÓN NATURAL PARA UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL TIPO.¹

AUTORES:

HECTOR YOHAN ADARME ROJAS
ANDERSON ALFONSO JAIMES GARCIA
HENCY HERNAN ROBALLO UMAÑA².

PALABRAS CLAVES: Simulación energética, DesignBuilder, iluminación natural, vivienda de interés social

DESCRIPCION:

La finalidad de este trabajo de grado es realizar un análisis energético teórico del uso de tecnologías de iluminación natural en una vivienda de interés social tipo aprovechando el recurso natural disponible en sitio, a fin de establecer la viabilidad de la implementación de éstas como alternativa de iluminación que contribuyan a la disminución del consumo de energía eléctrica.

La vivienda de interés social tipo seleccionada hace parte del proyecto “Paseo la Feria IV Etapa”, que se encuentra ubicado en la municipio de Bucaramanga departamento de Santander. Las tecnologías seleccionadas son los paneles cortados a laser, persianas, guía de luz sombreada, estantes de luz, abertura anidólica cenitales, ducto solar, claraboya circular, tragaluz angular selectivo.

Este análisis se basa en simulaciones energéticas realizadas en la herramienta de simulación DesignBuilder, para lo cual se elaboraron los modelos virtuales de la vivienda tipo y de cada tecnología considerada de acuerdo a una metodología establecida; para la simulación se emplearon los datos climatológicos de la ciudad de Bucaramanga.

En la creación de los modelos virtuales de las tecnologías se utilizó la información técnica constructiva hallada en catalogos, artículos, trabajos de grado entre otros.

La elaboración del modelo virtual de la vivienda tipo consideró las especificaciones técnicas del proyecto seleccionado.

Se realizó un análisis económico basado en el costo de cada tecnología y los resultados de la simulación del consumo de energía eléctrica por concepto de iluminación al interior de la vivienda, al implementar cada una de estas en la edificación, afín de determinar la viabilidad de su aplicación.

¹Trabajo de grado.

²Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: M.Sc. Germán Alfonso Osma Pinto. Co-director: PhD. Gabriel Ordoñez Plata

ABSTRACT

TITLE:

APPLICABILITY OF DAYLIGHTING TECHNOLOGIES FOR SOCIAL HOUSING TYPE.³

AUTHORS:

HECTOR YOHAN ADARME ROJAS
ANDERSON ALFONSO JAIMES GARCIA
HENCY HERNAN ROBALLO UMAÑA⁴.

KEYWORDS: Energy simulation, DesignBuilder, natural lighting, social housing

DESCRIPTION:

The purpose of this work is to perform a theoretical level energy analysis of the use of natural lighting technologies in a type social housing site leveraging the available natural resource in order to establish the feasibility of implementing these alternative lighting that contribute to the reduction of energy consumption.

The social housing type selected is part of the "Paseo la Feria IV Etapa" which is located in the municipality of Bucaramanga Santander department. Technologies developed are laser cut panels, blinds, shaded light guide, light shelves, Aerial Nonimaging opening, solar duct circular skylights, angular selective skylight.

This analysis is based on energy simulations performed in the simulation tool DesignBuilder, for which virtual models of housing and type of each technology considered according to an established methodology were developed; for simulation weather, data for the city of Bucaramanga were used.

In creating virtual models of information technology construction techniques found in you catalog, articles, theses or dissertations among others was used.

The development of the virtual model of the type considered housing the technical specifications of the selected project.

An economic analysis based on the cost of each technology and the simulation results of energy consumption for lighting concept within the housing, implement each of these in the building, akin to determine the viability of his was performed application.

³ Degree Work.

⁴ Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: M.Sc. Germán Alfonso Osma Pinto. Co-director: PhD. Gabriel Ordoñez Plata.

INTRODUCCIÓN

El uso racional y eficiente de la energía eléctrica permite desarrollar procesos sostenibles que aporten al crecimiento social y económico del país [1], [2].

El aprovechamiento de luz natural como opción para iluminación interior es una alternativa para la reducción en el consumo de energía eléctrica en horas diurnas en áreas dentro de las viviendas, donde se dispone de este recurso[1], [2], [3]. Esto permite edificaciones más eficientes energéticamente [2], [4], [5].

Las tecnologías de iluminación natural están asociadas significativamente con la arquitectura bioclimática, a partir de la cual se generan esfuerzos de transformación en el modelo tradicional de construcción, aprovechando los recursos del entorno para la reducción de costos (e.g. consumo energético por iluminación artificial) a nivel empresarial y residencial (hasta 50%) [1], [4].

Implementar este tipo de tecnologías a nivel residencial para viviendas de Interés Social-VIS en Colombia es una buena alternativa, ya que los posibles beneficiarios de estos proyectos representan alrededor el 87% (estratos 1,2,3) de los habitantes del país. Adicionalmente, la demanda de energía eléctrica del sector residencial está concentrada en estos tres estratos, con una participación del 76,3% (datos del año 2012), lo que implica que una reducción en la demanda energética para este conjunto de habitantes, representará un ahorro significativo anual del consumo de energía eléctrica en el país [6].

Con estos antecedentes se plantea analizar la aplicabilidad de tecnologías de iluminación natural (pasivas) a una vivienda de interés social tipo, mediante herramientas de simulación, a fin de determinar el ahorro potencial de energía eléctrica,

teniendo en cuenta que la iluminación artificial corresponde alrededor del 30% de la factura de energía en cualquier tipo edificación [7].

El ahorro potencial económico en la factura de energía eléctrica puede ser destinado a suplir otras necesidades básicas de los residentes del hogar, ya que los proyectos de VIS son asignadas a las familias de bajos recursos (ingresos menores a 4 SMMLV⁵)

El software seleccionado para realizar las simulaciones energéticas es "DesignBuilder", ya que es utilizado para simulaciones energéticas que permitan optimizar en tiempo y presupuesto la sostenibilidad energética de cualquier edificación [7]. Adicionalmente se conocen antecedentes de la utilización de esta herramienta en proyectos similares y la universidad posee licencia para la utilización del mismo.

La selección de las tecnologías de iluminación natural se realizó en revistas, libros, páginas web y proyectos de grado anteriores entre otros.

Las tecnologías seleccionadas para realizar el análisis fueron las guías de luz sombreada, persianas, claraboya circular, ducto solar, abertura anidolica cenital, panel cortado a laser, tragaluz angular selectivo, estantes de luz. Para cada tipo de tecnología fue creado un modelo virtual aproximado que simula el comportamiento de este elemento.

Como introducción del documento, se presentan algunas generalidades sobre la temática de la investigación (Sec. 0), posteriormente se aborda el tema de la Vivienda de Interés Social-VIS (Sec. 0), a continuación se procede a realizar una análisis del potencial de iluminación natural en sitio (Sec. 0), seguidamente se presentan las características principales de los sistemas de iluminación (Sec. 0),

⁵SMMLV: salario mínimo mensual legal vigente

luego se presenta la metodología para el modelado virtual (Sec. 0), a continuación se presenta la simulación energética (Sec.0), luego se presenta el análisis financiero (Sec.0), y se procede al análisis de resultados (Sec.0) y finalmente se presenta conclusiones y recomendaciones (Sec.0).

1. GENERALIDADES

En esta sección se presentan algunas definiciones de temas racionados con la iluminación natural, efectos, uso racional de la energía entre otros a fin de ampliar la visión de la temática desarrollada a lo largo de este trabajo.

1.1 USO RACIONAL DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

El uso racional y eficiente de la energía eléctrica consiste en satisfacer las necesidades energéticas de un sector con la menor inversión posible de recursos, sin sacrificar los beneficios que esta ofrece [2],[8]. La iluminación natural presenta una alternativa para reducir la inversión de recursos al utilizar un recurso propio del medio para iluminar el interior de un recinto y reducir el consumo de energía eléctrica [1].

1.2 ILUMINACIÓN DE INTERIORES

Es definida como el procedimiento para llevar al interior o generar la cantidad de flujo luminoso necesario dentro de un local a fin de garantizar niveles de iluminación adecuados para cada actividad particular a desarrollar dentro de éste [9],[10]. Las metodologías, equipos, elementos y materiales utilizados para iluminar son de gran variedad y es a criterio del profesional de iluminación decidir la mejor opción para llevar a cabo una correcta iluminación del recinto[9], [11].

1.3 ILUMINACIÓN NATURAL

La iluminación natural consiste en utilizar de una manera útil y adecuada la luz natural proveniente de la energía radiante del sol al interior del recinto a iluminar,

con el fin de aportar y/o lograr los niveles de iluminación requeridos para el desarrollo de actividades al interior de éste [4], [9].

La luz natural es la principal fuente luminosa de mayor eficiencia que proporciona un contraste perfecto de colores. Las características y disponibilidad de la luz natural depende de factores meteorológicos, hora del día, ubicación geográfica, y época del año entre otros[3], [4] ,[11]. La luz natural está compuesta por luz solar directa que es el haz de luz emitido directamente por el sol, y la luz del cielo que es luz difusa reflejada en la atmosfera [1], [11].

La luz es el principal factor de incidencia sobre el reloj biológico de las personas; una variación de la sincronización de éste influye en el estado de ánimo a raíz de cambios tanto fisiológicos como psicológicos [2], [4], [11]. Estos cambios sobre las personas pueden mejorar su rendimiento, avivar su estado de alerta, entre otros [2], [4].

El uso de luz natural promueve efectos térmicos debido a la radiación electromagnética, que como consecuencia modifica la distribución térmica [2], [3], [4]. Se debe considerar adicionalmente el efecto de deterioro (principalmente radiación UV⁶) de los objetos por la exposición prolongada a la luz directa, causando decoloración, sobrecalentamiento y por consiguiente, comprometiendo la vida útil y el aspecto de los objetos [2], [4].

1.4 BENEFICIOS DE LA LUZ NATURAL

El aprovechamiento de luz natural permite ahorros en el consumo eléctrico, teniendo presente que es uno de los recursos más abundantes y disponible en nuestro planeta.

⁶ UV: Ultra Violeta

Las tecnologías de iluminación natural, permiten optimizar el aprovechamiento de la luz natural allí donde, por medio de técnicas arquitectónicas tradicionales, no es posible. El aumento de las tarifas de energía eléctrica y la necesidad de reducir el consumo de energía eléctrica por cuestiones medioambientales han hecho insuficientes técnicas tradicionales para el aprovechamiento de luz natural [12].

La luz natural aporta a nuestra vida grandes beneficios como lo son: menor esfuerzo en la lectura, mayor concentración en el trabajo, es un antidepresivo, disminuye la tensión ocular, aporta sensación de bienestar, aumenta la productividad, reduce la irritabilidad, permite la vida de plantas al interior de viviendas (haciendo el ambiente más fresco y agradable), disminuye las emisiones de CO₂ y, disminuye la fatiga visual [13].

Adicionalmente, con la iluminación natural se obtienen los siguientes beneficios económicos: reducción del consumo de energía eléctrica tanto en climatización (debido a la función aislante) como en iluminación (reducción de uso de iluminación artificial), aumento de la vida útil de la instalación eléctrica de iluminación y reducción de sus gastos de mantenimiento [14].

1.5 CONSIDERACIONES SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL

En el diseño de iluminación natural se deben considerar aspectos tales como luz día disponible, condiciones de cielo, orientación de la edificación y posición del sistema de iluminación (cenital, lateral) [1]. Es de importancia evaluar las condiciones del sitio para seleccionar el sistema más adecuado, cabe señalar que una vez evaluadas las características del lugar es a criterio del profesional a cargo elegir la iluminación natural que considere más adecuada [1], [4], [11].

El sistema de iluminación natural debe: proveer luz a los espacios, aún en condición de cielo nublado, controlar y re-direccionar la luz solar en condición de cielo

soleado, incrementar el nivel de iluminación natural cuando existan obstrucciones en las aberturas tradicionales, y además transportar luz a espacios sin ventanas [1], [3].

2. ASPECTOS RELACIONADOS CON LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL –VIS

A continuación se presentan aspectos relacionados con las viviendas de interés social en nuestro país.

2.1 VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

La vivienda de interés social -VIS es aquella unidad habitacional destinada a mejorar la calidad de vida de las familias de más bajos recursos accediendo a mejores condiciones de habitabilidad y entorno, dicha solución no debe superar un costo de construcción superior a 135 SMMLV⁷ [15],[16].

Las VIS son asignadas a las familias con ingresos menores a 4 SMMLV, dentro de este contexto y de acuerdo con los estratos socioeconómicos (1, 2, 3, 4, 5, 6)⁸ bajo los cuales se clasifican los inmuebles residenciales en Colombia, se encuentra que las VIS se ubican en los estratos 1 ,2 y 3; estos estratos representan el 87% de los habitantes en Colombia [6].

2.2 ESTADO DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Es de esperar que la mayor cantidad de suscriptores al servicio de energía eléctrica se encuentre en los estratos bajos, lo que implica que la participación de la demanda del sector residencial está concentrada en este conjunto [6]. La Figura 1 presenta la demanda energética por estratos en Colombia en el año 2012.

⁷SMMLV: salario mínimo mensual legal vigente

⁸ Definición estratos socioeconómicos en Colombia. Fuente: http://www.dane.gov.co/files/geoestadistica/Preguntas_frecuentes_estratificacion.pdf

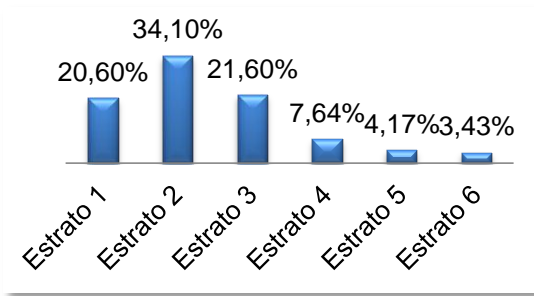


Figura 1. Demanda energética año 2012 [6]

Una reducción en el consumo de energía eléctrica para estos sectores representa un ahorro significativo anual de energía en el país.

2.3 SUBSIDIOS SERVICIO PÚBLICOS DOMICILIARIOS

El valor a pagar por el consumo de energía eléctrica en los estratos 1, 2 y 3 se expresa en la Ecuación 1, siendo %P el subsidio o contribución según el caso [17].

$$valorapagar = consumo * (tarifa * \%P)$$

Ecuación 1

El porcentaje de los subsidios para los estratos 1, 2, 3, los cuales son los potenciales beneficiarios de proyectos de VIS se presentan en la Tabla 1 [17].

Estrato	%P
1	0,5 (50%)
2	0,6 (40%)
3	0,85 (15%)

Tabla 1. Subsidio según estrato socioeconómico [17]

2.4 CONFORT LUMÍNICO VISUAL

Es el conjunto de características que permiten visualizar los objetos con el menor esfuerzo posible [11]. Para definir el confort lumínico se establecen los niveles de

iluminación adecuados conforme a las actividades a desarrollar en un área o zona dentro de la vivienda y se utilizarán como guía para el desarrollo de este proyecto [2]. La Tabla 2 presenta los niveles de iluminación por zona.

Los niveles establecidos en la Tabla 2 serán utilizados en el software seleccionado para establecer el nivel mínimo de iluminación requerido para cada zona dentro de la vivienda, para llevar a cabo las tareas que allí se requieran sin ningún esfuerzo visual.

Área o zona vivienda seleccionada	Actividad	Nivel de iluminación Mínimo [lux]
Dormitorio	Dormir, descanso, entretenimiento	150
Escaleras	Circulación	100
Baños	Aseo personal	100
Sala comedor	Alimentación, estudio, área social	300
Cocina	Preparación de alimentos	300
Patio ropas	Aseo y secado ropa	100

Tabla 2. Niveles de iluminación según zonas y actividad [2].

2.5 CRITERIOS SELECCIÓN DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL TIPO

Los criterios para seleccionar un vivienda tipo fueron establecidos considerando los aspectos relacionados con la temática trabajada [3], [4] y son presentados a continuación.

Ubicación: Se debe contar con los datos climatológicos necesarios para realizar la simulación en la herramienta computacional, y así determinar el comportamiento energético de cada tecnología [18].

Vivienda terminada: Permite tener una visión real para aplicación de este proyecto. Se puede contar con información de la construcción, ubicación, espacios construidos [18].

Acceso al presupuesto: Permite realizar un análisis financiero comparativo del costo real de construcción de un proyecto de VIS [18].

Flexibilidad de diseño: El diseño de la vivienda seleccionada debe ser versátil de manera tal que permita la implementación de la mayor cantidad de sistemas de iluminación natural [18].

Diseño tipo: El diseño seleccionado representa las características básicas de los proyectos de VIS, de manera que los resultados obtenidos en esta investigación puedan ser aplicables a otros proyectos; debe cumplir con los requisitos mínimos de calidad establecidos para las VIS [5], [18]. La Tabla 3 presenta el proyecto seleccionado.

Criterio	Justificación
Ubicación	Se selecciona el departamento de Santander, en el área metropolitana de Bucaramanga, ya que se tienen los datos climatológicos necesarios para realizar la simulación implementando las tecnologías [1], [19].
Vivienda terminada	Se selecciona el proyecto "PASEO LA FERIA IV ETAPA", debido a que para este proyecto la vivienda está totalmente construido [20].
Acceso al presupuesto	Al ser un proyecto convocado a licitación pública, es posible obtener el presupuesto de este proyecto al través del SECOP ⁹ . Se puede obtener el costo por vivienda tipo [21].
Flexibilidad diseño	Se selecciona una vivienda de tipo unifamiliar, que permite la implementación de tecnologías sin intervenir con otro núcleo familiar, asimismo es posible utilizar varios perfiles de la vivienda para captación de luz natural [5], [15].
Diseño tipo	Se seleccionó el diseño de una vivienda con las siguientes áreas: patio de ropas, cocina, baño, espacio múltiple, habitación, para cumplir con los requisitos mínimos de calidad de la vivienda; y de tipo unifamiliar [5], [22].

Tabla 3. Características proyecto seleccionado.

⁹SECOP: Sistema Electrónico de Contratación Pública

2.6 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA VIVIENDA SELECCIONADA

El proyecto “PASEO LA FERIA IV ESTAPA” tiene tres diseños tipo de vivienda [21] (ver especificaciones proyecto portal SECOP¹⁰), para el caso particular de esta investigación se elige la vivienda tipo 5 (ver Anexo C) ya que este diseño representa el mayor porcentaje (64,96%) del total de viviendas en el proyecto, con costo directo por vivienda de este tipo de \$ 23, 268,657,00 COP [21]. En la Figura 2 se observa la vivienda real.



Figura 2. Vivienda real [18].

La vivienda tiene dos pisos con los siguientes espacios y características: sala comedor (barra americana), cocina, un (1) baño, patio de ropas, escalera y espacio en el segundo piso dividido para dos habitaciones y un (1) baño (ver planos) en mampostería H-15 confinada a la vista, fachada en mampostería estructural con placa entrepiso aligerada en casetón con concreto impermeabilizado, tanque de abastecimiento de agua con su respectiva placa, las paredes no tienen friso ni pintura (color natural del ladrillo), los techos son frisados y sin pintura, y tiene acometidas y puntos de salida todos los servicios públicos [21].

La vivienda se encuentra orientada de Sur a Norte. Comparte parcialmente secciones del muro por el Sur y Este con otra vivienda, simultáneamente al Oeste la

¹⁰<https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=13-1-89061>

totalidad del muro es compartido con otra edificación, mientras que la fachada Norte está totalmente despejada. En la Figura 3 se ilustra el emplazamiento de la vivienda.

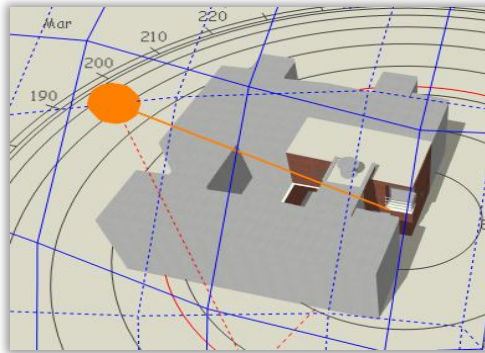


Figura 3 Emplazamiento vivienda tipo seleccionada con base en el modelo virtual creado en DesignBuilder [18].

3. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE ILUMINACIÓN NATURAL

La evaluación tiene por objeto determinar el potencial de luz disponible que paralelamente permitirá determinar las áreas del diseño de vivienda tipo con posibilidades de aprovechar este recurso natural [1], [4]. Posteriormente, los resultados son utilizados para seleccionar las tecnologías de iluminación natural con mejor perfil a implementar. Para esto se estableció la siguiente metodología:

Determinación del potencial solar del sitio

Establecimiento de obstrucciones circundantes de luz natural cercanas a la edificación

Espacios disponibles para implementar las tecnologías

Características a tener en cuenta para la selección de tecnologías iluminación natural

3.1 POTENCIAL SOLAR DEL SITIO PARA ILUMINACIÓN

La radiación solar promedio en Bucaramanga es de 4,9 kWh/m²/día, debido a la posición geográfica (cerca de la línea ecuatorial) y condiciones climáticas del sitio [1], [3], [4]. En la Figura 4 se observa que el comportamiento de este recurso es cuasi-estable, haciendo de este un sitio de alto potencial para aplicaciones de iluminación natural.

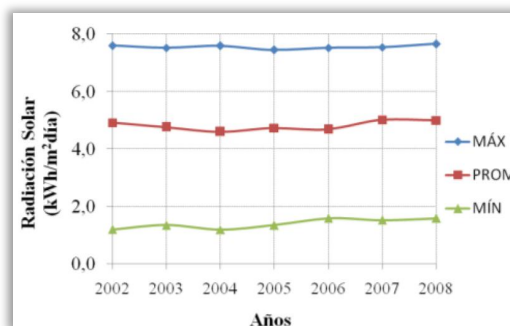


Figura 4 Comportamiento histórico de la radiación solar en la ciudad de Bucaramanga [1].

Los resultados de la Figura 4 se obtuvieron mediante un estudio histórico entre los años 2002 a 2008, datos aportados por CDMB¹¹ [1].

3.2 OBSTRUCCIONES CERCANAS A LA EDIFICACIÓN Y PERFILES DISPONIBLES PARA TOMA DE LUZ NATURAL

Para el análisis de las obstrucciones se utilizó la opción visualizar del software, la cual permite observar las proyecciones de las sombras producidas por los objetos (modelo virtual) debida a una exposición de luz semejante al sol para un día y hora del año específica, observándose las sombras para los dos solsticios¹² y un equinoccio¹³ (7 am, 10 am, 12 pm, 2pm, 4 pm), siendo seleccionado el resultado con mayor cantidad de sombra sobre la edificación.

La Figura 5 presenta el desplazamiento de sol según la orientación de la vivienda, y las obstrucciones cercanas para un día y hora determinada a manera de ilustración.

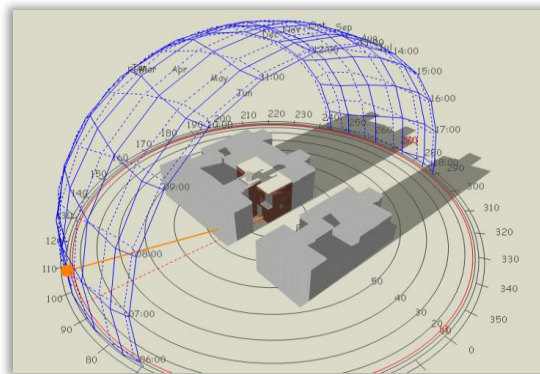


Figura 5. Obstrucciones cercanas a la edificación [18].

Como resultado del análisis de obstrucciones realizado mediante la simulación (ver Anexo A) se observa que la vivienda tiene un obstáculo de luz directa por el

¹¹CDMB: Corporación para la defensa de la meseta de Bucaramanga

¹²Solsticios: son los momentos del año en los que el Sol alcanza su mayor o menor altura aparente en el cielo, y la duración del día o de la noche son las máximas del año, respectivamente. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Solsticio>

¹³Equinoccio: épocas en que los dos polos de la Tierra se encuentran a igual distancia del Sol, cayendo la luz solar por igual en ambos hemisferios. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Equinoccio>

Norte debido a su orientación, durante una época del año (septiembre a marzo), al Oeste se encuentra obstruida ya que comparte este muro con otra vivienda debido a las características de diseño constructivo del proyecto (ver Figura 6).

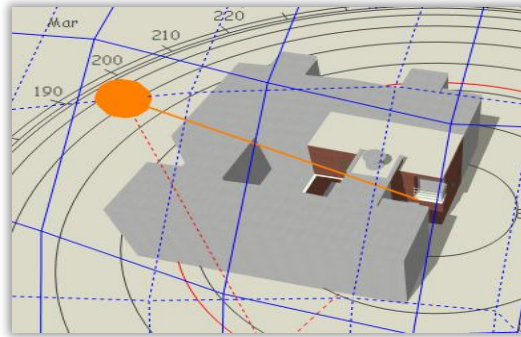


Figura 6. Vista isométrica posición vivienda [18]

Al Este y al Sur tiene una obstrucción parcial de luz, debido a que la construcción comparte una sección del muro con otra vivienda debido al diseño propio del proyecto, pero posee el patio de ropas como toma de luz.

La cubierta de la vivienda puede en su totalidad ser aprovechada para iluminación cenital debido que a la cubierta no posee obstrucciones de luz natural durante el día permitiendo aprovechar las horas de luz día disponibles a fin de iluminar el interior de la vivienda. Se observa que la fachada Norte posee alto potencial de aprovechamiento de luz directa y difusa, la fachada Oeste no es aprovechable, las fachas Sur y Este son parcialmente aprovechables para iluminación lateral de luz directa y difusa [18] .

3.3 ÁREAS DISPONIBLES

Para la determinación de las áreas disponibles para la ubicación de las tecnologías de iluminación natural, se revisaron las especificaciones del proyecto, obtenidas del portal SECOP [21]. En el portal se establece para este caso que la mampostería es de tipo estructural y debido a que cualquier modificación estructural

que se realice puede debilitar la edificación [4], se decidió para este trabajo de grado, utilizar las aberturas existentes para estudiar las posibles soluciones de iluminación natural.

La segunda alternativa que analiza en este trabajo es la modifica la placa de techo de la vivienda, donde se podrían ubicar las tecnologías de tipo cenital. Al igual que en el caso de la mampostería es necesario establecer el impacto que tendría en la estructura de la vivienda una intervención en el techo de la misma para de esta forma prever su posible aplicación en proyectos posteriores.

Para esta segunda alternativa se propone aprovechar el área del techo (exceptuando el área del tanque aéreo) para la implementación de las tecnologías de tipo cenital [3], [4]. Esta placa está compuesta de concreto aligerado con bloque de escombros y capa de concreto impermeabilizado [21].

3.4 CARACTERÍSTICAS A CONSIDERAR PARA LA SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN NATURAL

Dada la ubicación en la zona tropical de las viviendas, la cantidad de soleación recibida durante el día tiene un comportamiento cuasi-estable todo el año, por lo tanto es necesario que las tecnologías seleccionadas, consideren el control y redirección de la luz en un día soleado a fin de evitar deslumbramiento e incremento de temperatura al interior de la vivienda; y en días nublados provean suficiente luz natural en los espacios para desarrollar las actividades allí requeridas (ver Anexo A) [1], [3], [4], [11], [19]. Se elige como estrategia, utilizar tecnologías de aplicación cenital y lateral dadas las condiciones del lugar y por lo tanto, esta solución solo aplica para el proyecto seleccionado dadas las condiciones del sitio.

4. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL

Es necesario establecer los tipos de sistemas de iluminación más adecuados con base en los resultados obtenidos en la evaluación del potencial de iluminación natural, para lo cual se presenta a continuación una breve reseña de estos sistemas [1] .

4.1 SISTEMA CON SOMBREADO

Ofrece protección contra el deslumbramiento y re direcciona la luz solar directa o difusa en el recinto, evitando que luz solar directa ingrese en la zona cercana a la abertura, reducen el ingreso de luz día. Posee dos clasificaciones, uno es un sistema que puede rechazar la luz solar directa capturando la luz difusa, y otro que utiliza el haz de luz directo para re direccionar al interior a una altura superior al nivel visual horizontal [1], [23].

4.2 SISTEMA SIN SOMBREADO

Diseñado para dirigir la luz a zonas alejadas del elemento de captación del haz luminoso; este sistema puede o no bloquear la luz solar directa [23]. Se divide en cuatro categorías:

Guía de luz difusa: utiliza la luz difusa para iluminar, cuando obstrucciones impiden la luz directa sobre la edificación; algunas tecnologías para utilizar con este sistema son los paneles prismáticos, vidrio cenital con HEO¹⁴ [1], [23].

Guía de luz directa: Estos sistemas transmiten la luz solar directa al interior de la edificación sin los efectos secundarios de deslumbramiento y calentamiento, algu-

¹⁴ HOE: Elementos ópticos holográfico por sus siglas en ingles

nos ejemplos son: el tragaluz angular selectivo, el panel cortado a laser y los heliostatos [1], [23].

Difusión o dispersión de luz: produce una distribución uniforme de la luz que ingresa por claraboyas o tubos solares, evitando el deslumbramiento al interior del recinto. Algunos ejemplos son: cristal conductor solar y las persianas solares anidólicas [1], [23].

Toma y transporte de luz: Este sistema transporta la luz solar a través de una determinada distancia al interior de las edificaciones cuando son grandes distancias generalmente se hace con fibra óptica [1], [23]. Algunos ejemplos son: techos anidólicos y ductos solares, entre otros.

4.3 ACRISTALAMIENTO, ILUMINACIÓN NATURAL Y RADIACIÓN SOLAR

Las ventanas son el principal medio de iluminación natural, proporcionando una zona de iluminación delimitada entre la ventana, y con una profundidad de penetración de luz de 1,5 a 2 veces la altura de la ventana [1], [3]; su desempeño depende de su posición y tamaño en la edificación al igual que los elementos que la componen, siendo el cristal el elemento constitutivo más importante [1], [3], [4]. Los cristales como principal medio de transmisión de luz natural, se utilizan principalmente en los ventanales que pueden ser ubicados unilateral, bilateral, o multilateral de acuerdo a la edificación [1], [3], [24].

Los factores de transmisión, reflexión y absorción de energía expresan la relación de flujo energético a través del cristal. Existen dos coeficientes a resaltar: *el factor solar* (energía térmica total que atraviesa el cristal) y *la transmisión luminosa* (cantidad de luz que pasa a través del cristal) [3], [24]. La Figura 7 representa el flujo de energía a través del cristal.

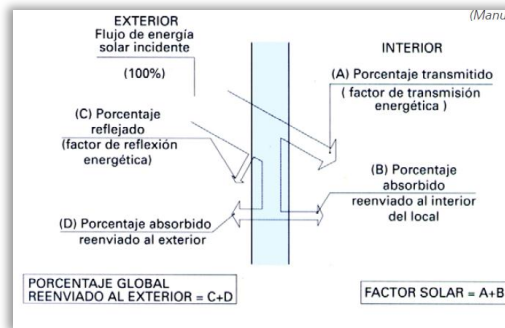


Figura 7. Flujo de energía a través de un cristal [24].

Una de las alternativas para reducir el calentamiento al interior del local es la utilización de "vidrios de control solar", que permiten el paso de luz y solo dejan pasar una parte de la radiación energética solar [11], [24].

4.4 TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS

Los criterios de selección de las tecnologías de iluminación natural se presentan en la

Tabla 4.

Criterio	Justificación
Impacto estructural	Este criterio se utiliza para sentar un precedente y advertir que la implementación de las tecnologías debe ser concebida desde las etapas previas de diseño, a fin de evaluar su impacto sobre la edificación. Para el caso concreto de este trabajo de grado, este aspecto no será considerado como un criterio relevante, ya que la implementación de la tecnología en sí misma es virtual no real, sin embargo se prefiere utilizar las aberturas admitidas en la construcción actual.
Espacio necesario	Se recomienda utilizar tecnologías con las mismas formas y tamaños de las aberturas laterales existentes, para el caso de tecnologías de tomas de luz cenital es a criterio del diseñador elegir el tamaño más adecuado.
Tipo de sistema de iluminación	Seleccionar las tecnologías de acuerdo al sistema de iluminación más apropiada para las condiciones del sitio (orientación, luz día disponible) que puede ser cenital o lateral.
Antecedentes	La tecnología seleccionada debe haber sido aplicada o conocerse antecedentes de su funcionamiento (ejemplo: bodegas, colegios, edificios de oficinas) garantizado así la existencia de fabricantes y la utilización previa de la misma.
Posibilidad de modelar	La tecnología seleccionada debe poder ser recreada en forma virtual en el programa DesignBuilder, ya que este es el software bajo licencia autorizado destinado para esta investigación.

Tabla 4. Recomendación elección tecnologías.

De acuerdo con la consulta realizada, las tecnologías con potencial implementación en la vivienda tipo son de dos tipos: de aplicación cenital como: el tragaluz angular selectivo, la claraboya circular, el ducto solar y la abertura anidolica cenital, y de aplicación lateral como: las persianas, las guías de luz sombreada, el panel cortado a laser y los estantes de luz.

5. MODELADO VIRTUAL

En esta sección se presenta el modelado de la vivienda y de las tecnologías seleccionadas.

5.1 DEFINICIÓN DEL MODELADO VIRTUAL

El modelado virtual es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real por medio de un programa de computadora, que a partir de unos datos de entrada genera unos datos de salida sobre los cuales se genera un análisis [25].

Los datos de entrada para este proyecto fueron los niveles de iluminación mínimo de cada zona de la vivienda, los datos climatológicos del lugar, las dimensiones de la vivienda, las tecnologías de iluminación natural seleccionadas, los materiales constructivos y las curvas de ocupación de cada zona. Con estos datos de entrada se obtiene el consumo de energía eléctrica requerida por iluminación de la vivienda durante un año.

El modelado virtual permite obtener respuestas de un modelo real para diferentes escenarios. Adicionalmente, realiza parte de la interpretación de datos de una manera ágil, y suministra la información de forma clara y ordenada [26].

5.2 HERRAMIENTA PARA SIMULACIÓN VIRTUAL

El software seleccionado es DesignBuilder, herramienta utilizada para hacer simulaciones energéticas y la E3T posee la licencia para su uso académico [26].

DesignBuilder permite el modelado virtual de edificios en tres dimensiones, generando las volumetrías de las construcciones a partir del ensamblado de bloques, lo

cual es aspecto importante ya que permite el análisis energético y térmico considerando la geometría detallada de la edificación [26].

Para llevar a cabo el modelado en DesignBuilder se requiere un nivel de manejo significativo de la herramienta.

5.3 METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN

En la Figura 8 se presenta la metodología para llevar a cabo la simulación según [18], en 3 fases: creación del modelo virtual, ajuste del modelo y finalmente, simulación y resultados.

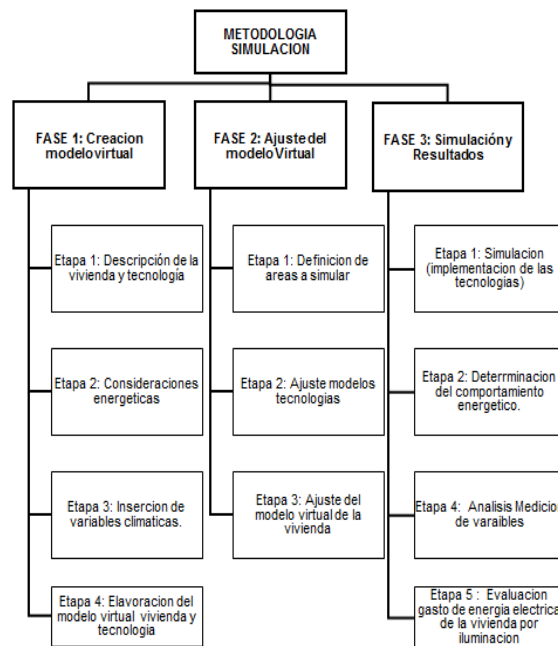


Figura 8. Metodología simulación [18].

5.4 CREACIÓN MODELO VIRTUAL VIVIENDA

La elaboración del modelo virtual de la vivienda tipo consideró las especificaciones técnicas del proyecto seleccionado y fueron utilizadas las plantillas que tiene el

programa. A continuación se presenta una breve descripción del proceso de elaboración del modelo.

Etapas 1. Inserción de datos climatológicos. Estos datos fueron obtenidos de un proyecto de investigación previo [23], en formato EPW y que lleva por nombre “Col_bucaramanga.800940_E3T.epw”.

Etapas 2. Inclusión de planos arquitectónicos en formato DFX. Se cargaron los planos arquitectónicos suministrados por el INVISBU¹⁵; esto permitió la creación de las bases dimensionales de la edificación seleccionada, lo cual es la guía para la construcción de los respectivos bloques exteriores e interiores¹⁶.

Etapas 3. Creación de bloques para la vivienda. Se traza el perímetro del bloque que muestra el diagrama arquitectónico. Para la elaboración del primer piso se tomó una altura de 2,52 [m] y un espesor para los muros exteriores de 0,15 [m].

Etapas 4. Particiones internas de la vivienda. Las particiones internas se crearon con la herramienta “Draw partitions” modeladas como muros de ladrillo. Este proceso genera las zonas de forma automática. Cabe mencionar que el programa asigna un mismo espesor para estas particiones (limitación del programa)¹⁷ y además la misma altura de los muros exteriores.

Etapas 5. Elaboración del segundo piso. Esta etapa es una repetición de las etapas anteriores, ya que se trata de la construcción de un nuevo bloque. Es necesario que el plano del segundo piso quede sobre la cubierta del bloque creado anteriormente para el primer piso; de igual manera se procede a crear un nuevo bloque exterior y después las particiones internas, con sus respectivos detalles.

¹⁵ INVISBU: Instituto de Vivienda Interés Social y reforma urbana del municipio de Bucaramanga

¹⁶ Bloques exteriores: el nombre que se da en el software a los muros exteriores de la edificación.
Bloque interiores: el nombre que se da en el software a los muros interiores de la edificación.

¹⁷ Esta es una de las limitaciones del programa no permite que las particiones internas de un mismo bloque se generen con diferentes espesores [26].

Etapa 6. Modelado de ventanales. Para la ubicación de ventanas se utilizan trazos perimetrales con ayuda de “place construction line”; seguidamente se procede a trazar las ventanas con la herramienta “Draw window” o “Draw vent”

Etapa 7. Modelado de aberturas. Para realizar el modelado de espacios vacíos, en primer lugar se trazan líneas perimetrales con ayuda de la herramienta “place construction line”, a continuación se realiza la abertura apoyados en el comando “Draw hall”, el cual permite realizar ranuras sobre estructura de la vivienda.

Etapa 8. Modelado de detalles arquitectónicos. En esta última etapa se colocan los detalles de la vivienda, como materiales, tamaño de los ventanales y elaboración de la placa que sirve como techo. De estos detalles depende la exactitud de las simulaciones térmicas y lumínicas.

En la Figura 9 se presenta el modelo de la vivienda elaborado en el programa DesignBuilder.

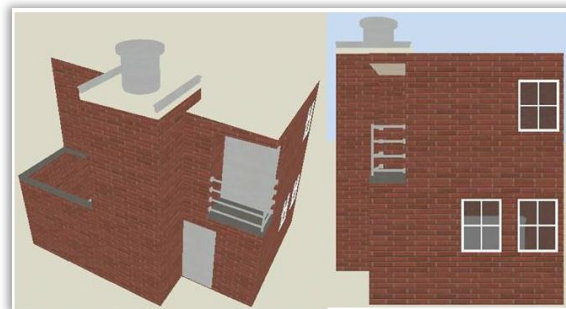


Figura 9. Modelo virtual vivienda.

5.5 MODELADO DE LAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN NATURAL

La Tabla 5 presenta las características principales de los modelos virtuales de cada tecnología de iluminación natural. Se establecen tres niveles de dificultad para

clasificar de acuerdo a la elaboración del modelo de tecnologías y dos tipos de modelado [18].

Los tipos de modelado son establecidos de acuerdo a las opciones presentadas con el software utilizado como son: directo (el programa tiene las plantillas para crear la tecnología) e indirecto (el programa no tiene las plantillas para crear la tecnología).

Los niveles de dificultad considerados son: nivel 1 (se establece de forma directa ya que el software lo incluye o requiere de una fácil elaboración), nivel 2 (se establece si es necesario realizar modificaciones a los modelos directos, o la creación de los mismos) y nivel 3 (se establece cuando es necesario crear la tecnología a utilizar por no estar considerada en el programa (indirecta), pero se requiere de un conocimiento significativo del software (nivel avanzado)) [18].

Tecnología	Dificultad/ modelado/tipo de iluminación	Descripción modelado	Sistema de iluminación
Estantes de luz	Nivel 1/ Directo/ lateral	Requiere variación del ángulo de inclinación de las bandejas.	Guía de luz directa
Paneles cortados a laser	Nivel 2/ Directo/ lateral	Doble acristalamiento con persiana intermedia.	Dispersión de luz
Tragaluz angular selectivo	Nivel 2/ Indirecto/ cenital	Forma piramidal compuesto por el modelo panel cortado a laser.	Dispersión de luz
Persianas	Nivel 1/ Directo/ Lateral	Listones horizontales, de aluminio altamente reflectante	Guía de luz directa
Ductos solares	Nivel 3/ Indirecto/ Cenital	Cilindro de aluminio altamente reflectivo, con cristal en los extremos	Toma y transporte de luz
Claraboya circulares	Nivel 1/ Directo/ Cenital	Abertura cenital y modificación acristalamiento	Toma y transporte de luz
Guía de luz sombreada	Nivel 3/ Indirecto/ lateral	Creación bloque edificio con inclinación y modificación de materiales.	Guía de luz directa y difusa
Aberturas anidólicas cenitales	Nivel 3/ Indirecto/ cenital	Conducto de aluminio altamente reflectivo, con cristal en los extremos, con inclinación en la toma de luz.	Guía de luz difusa

Tabla 5. Características básicas modelos virtuales [18]

Las tecnologías de iluminación natural de fácil modelado son: las claraboyas circulares, los estantes de luz y las persianas, las que presentaron mayor grado de dificultad son: las aberturas anidólicas cenitales, las guías de luz sombreada y los ductos solares.

A continuación se exponen el modelado de dos tecnologías de iluminación natural a manera de ilustración del trabajo requerido para la elaboración de cada modelo. Los demás modelos se presentan en el Anexo B.

5.5.1 Tragaluz angular selectivo con panel cortado a laser

Para el diseño de esta tecnología de iluminación natural se creó un bloque de edificio, se utilizó el panel cortado a laser creado para el acristalamiento de la cubierta. El número de tragaluz seleccionado es de cuatro, debido a que cuatro son las zonas de la segunda planta. La Tabla 6 presenta las dimensiones principales de estas tecnologías y la Figura 10 muestra el modelo obtenido [18].

Dimensiones	
Base	Medida [m]
Largo	0,5
Ancho	0,5
Alto	0,1
Cubierta	Inclinación
Todos lados	45°

Tabla 6. Dimensiones tragaluz angular [18]

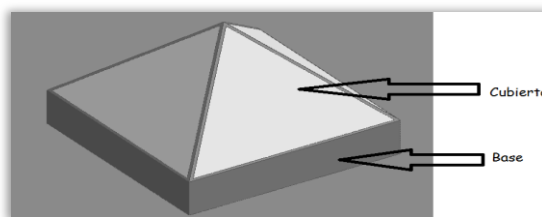


Figura 10. Tragaluz angular [18]

Los tragaluces angulares se ubicaron en el centro de cada zona, en el techo de la edificación (ver Figura 11), para que la distribución de luz sea lo más uniforme posible en cada zona [11], [18].

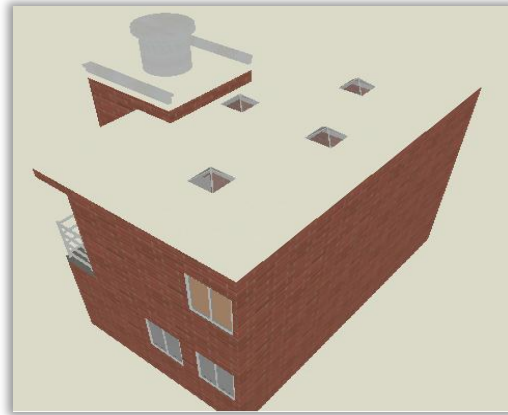


Figura 11. Vista isométrica ubicación tecnología [18]

Para las partes de la tecnología de iluminación natural que no son acristalamientos, es decir la base y uniones de la cubierta se utilizó aluminio estándar de espesor 1[mm] (ver Tabla 7) [18].

Aluminio estándar	
Absorbancia ¹⁸ térmica (emisividad)	0,3
Absorbancia solar	0,3
Absorbancia visible	0,3

Tabla 7. Propiedades aluminio [18].

5.5.2 Claraboyas circulares

Para el diseño de las claraboyas, se realizó una ventana en el techo de la edificación utilizando la herramienta (Draw window), el número de claraboyas seleccionado fue de cuatro por las cuatro zonas existentes en la segunda planta de la vivienda (ver Figura 12) [18].

¹⁸ Absorbancia: se refiere a la cantidad de luz absorbida por un cuerpo, a mayor cantidad de luz absorbida mayor será la absorbancia. No posee unidad de medida (adimensional). Fuente: <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>

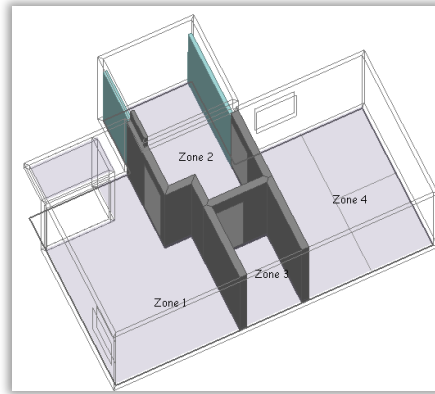


Figura 12. Zonas segunda planta [18]

Las claraboyas se ubicaron en el centro de cada zona, en el techo de la edificación, para que la distribución de luz sea lo más uniforme posible en cada zona (ver Figura 13) [18].

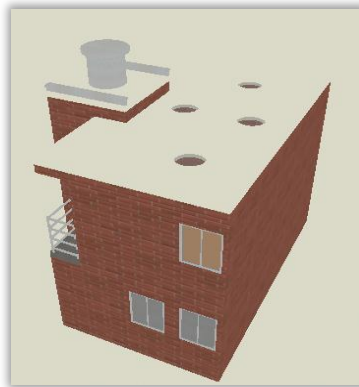


Figura 13. Vista isométrica ubicación tecnología [18]

Las claraboyas tienen un radio de 0,3 [m] y el tipo de acristalamiento seleccionado es “Trp LoE Film (77) Clr 3mm/13mm Air”, contenido en los ficheros del programa. Este tipo de acristalamiento es de control solar.

En la Tabla 8 se presenta una descripción del tipo de acristalamiento de la claraboya y la Figura 14 presenta una vista de la composición [18].

Tipo acristalamiento	Trp LoE Film(77) Clr 3mm/13mm Air
Número de capas	3
Panel 1	Generic clear (3mm) (vidrio genérico claro 3mm)
Capa gas 1	Air 13 mm (aire 13mm)
Panel 2	Generic COATED POLY-77 (vidrio genérico recubierto de polímero)
Capa gas 2	Air 13mm (aire 13mm)
Panel 3	Generic clear (3mm) (vidrio genérico claro 3mm)
PROPIEDADES ACRISTALAMIENTO	
Transmisión solar total ¹⁹ (SHGC)	0,469
Transmisión solar directa	0,377
Transmisión de luz	0,637

Tabla 8. Propiedades y composición del acristalamiento [18]

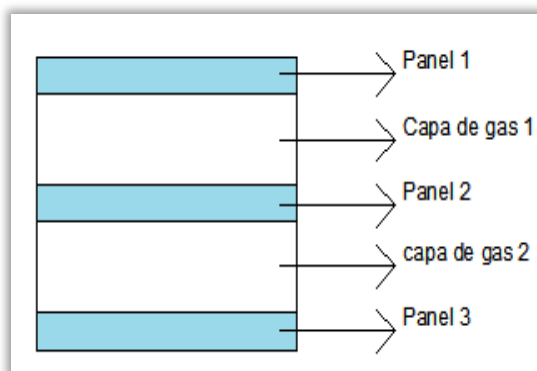


Figura 14. Vista modelo acristalamiento [18]

¹⁹ Transmisión solar total (SHGC- Coeficiente de ganancia de calor solar): es la fracción de radiación solar del haz incidente que entra en la zona por el acristalamiento. Fuente: http://www.designbuilder.co.uk/helpv3.2/#_Glazing_calculated_data.htm%3FTocPath%3DComponents%7CGlazing%7C_____2

6. SIMULACIÓN ENERGÉTICA

En esta sección se presenta las consideraciones establecidas para determinar el consumo de energía eléctrica anual para una vivienda tipo con y sin la aplicación de las tecnologías de iluminación natural.

El tipo de control utilizado para la simulación es “lineal/off” porque proporciona un mecanismo de control de la iluminación en el cual la bombilla solo aporta la cantidad de iluminación faltante para tener el nivel adecuado y permite cuantificar los aportes por iluminación natural [11].

En las figuras 15 a 17 se observa el funcionamiento teórico del control de iluminación lineal/off, el cual inicialmente determina la ocupación del sitio (Figura 15) y considerando la cantidad de iluminación natural disponible (Figura 16), se establece la cantidad de luxes que la iluminación artificial debe aportar (Figura 17) para cumplir el nivel mínimo de iluminación requerido.

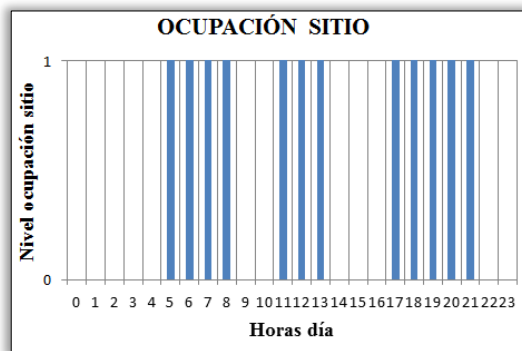


Figura 15. Ocupación sitio



Figura 16. Iluminación natural disponible

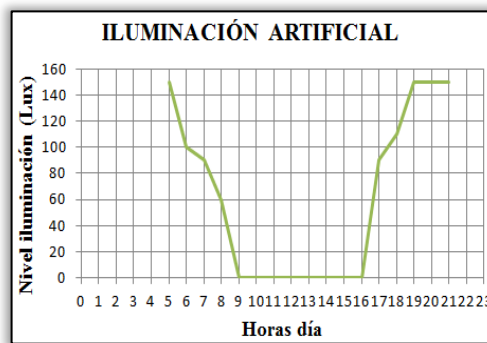


Figura 17 Iluminación artificial

La simulación tiene en cuenta el tipo de ocupación del sitio (ver Anexo D) y el nivel de iluminación mínimo para la zona [18].

Para validar los resultados obtenidos de la simulación se consideró el estudio realizado por la UPME²⁰ [27] y la Universidad Nacional en el año 2006 [2], donde se determinó que el consumo anual de energía eléctrica de los estrados 1 y 2, está entre 1440 kWh/año y 1920 kWh/año y de acuerdo a la investigación realizada se estima que el consumo por iluminación en una edificación es del 30% de todo el consumo de energía eléctrica [1], lo que permite suponer que el rango dentro del cual está el consumo para la vivienda tipo seleccionada, está entre 432 kWh/año y 576 kWh/año. Los resultados de las simulaciones se encuentran en el anexo D.

²⁰ UPME: Unidad de planeación Minero Energética

En la Tabla 9 se presenta una comparación del consumo de energía eléctrica para las diferentes alternativas propuestas de iluminación natural así como el caso donde no se utilice ninguna de éstas.

Tecnologías	Parámetros	
	Consumo iluminación [kWh/año]	Ganancia solar²¹ por ventanas [kWh/año]
Sin tecnologías	488,8	5256
Estantes de luz	530,9	5039
Panel cortado a laser	467,6	5419
Guías de luz sombreada	546,5	5409
Abertura anidolicas cenitales	453,9	5955
Tragaluz angular selectivo	455,1	6423
Ducto solar	450,6	5640
Claraboyas	479,9	5640
Persianas	495,1	5742

Tabla 9. Consumo de energía eléctrica por iluminación

Se observa que algunas tecnologías de iluminación natural implementadas en la vivienda no realizaron un ahorro de energía eléctrica y si un incremento en el consumo de energía (persianas, estantes de luz, guías de luz sombreada), esto es debido a que estas tecnologías son sistemas de iluminación con sombreado los cuales ofrecen protección contra el deslumbramiento, re direccionando la luz solar directa y difusa al interior de la edificación [28], [29], [30], evitando que la radiación directa ingrese en la zona cercana a la abertura, por tanto reduce el ingreso de luz natural de día; pero la aplicabilidad de estas tecnologías ofrece otros beneficios como son [31]:

Aislación térmica (frío y calor).

Evita el calentamiento interior de la vivienda generando un ahorro por concepto de refrigeración.

²¹ Ganancia solar: Se refieren a la cantidad de radiación solar que ingresa por los acristalamientos

Realizan aislación acústica, protegiendo las habitaciones y espacios interiores de la vivienda del ruido exterior.

Control de luz solar, con la finalidad de mejorar las horas de sueño en las mañanas.

Privacidad visual.

7. ANÁLISIS FINANCIERO

Para evaluar el potencial ahorro en dinero por consumo de energía eléctrica se presenta una comparación entre el costo de energía eléctrica anual del consumo del caso base presentado en la Tabla 9 con relación a los costos de los consumos requeridos al implementar las diferentes tecnologías de iluminación natural.

En la Tabla 10 se aprecia los equivalentes de ahorro económico de energía eléctrica que se generaría al implementar estas tecnologías en la vivienda seleccionada, considerando un precio de la energía eléctrica promedio para el año 2013 para los estratos uno (1) y dos (2). Para estimar los valores promedio de referencia se utilizaron los valores de la tarifa mensual²² de la Electrificadora de Santander debido a que para el proyecto seleccionado es quien presta el servicio de energía eléctrica a estas viviendas.

En la Figura 18 se observa el comportamiento del precio del kWh para los estratos uno y dos durante el año 2013 de acuerdo a las tarifas de la Electrificadora de Santander, de donde se obtiene que el precio promedio para el estrato uno es de 166,83 [\$/kWh] y para el estrato dos es de 208,01 [\$/kWh].

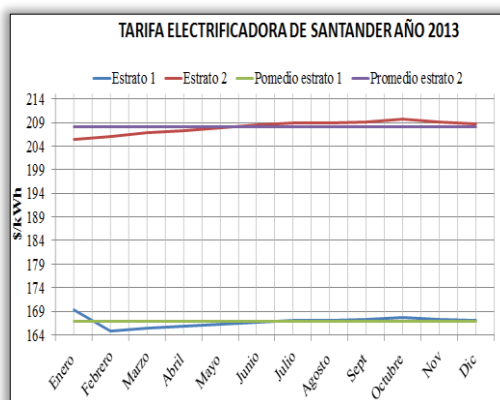


Figura 18. Comportamiento precio kWh para el año 2013

²² Disponibles en: <http://www.essa.com.co/site/clientes/es-es/tarifas/consultartarifas.aspx>

El ahorro económico en el consumo de energía eléctrica se estima teniendo en cuenta la cantidad de kWh año, en que se disminuye el consumo de energía al utilizar las tecnologías de iluminación natural y luego ese valor se multiplica por el precio promedio del kWh para cada estrato. A continuación se presenta el procedimiento realizado.

En la Ecuación 2 se saca la diferencia entre el consumo anual de la energía eléctrica del caso base (vivienda sin aplicar ninguna tecnología) con el resultado del consumo anual de energía eléctrica al implementar cada tecnología, de esta manera se obtiene el ahorro de energía anual presentado en la Tabla 10.

H: valor caso base

I: valor al aplicar la tecnología

J: Ahorro de energía anual

$$H - I = J$$

Ecuación 2

Para calcular el valor económico equivalente del ahorro de energía anual obtenido, se toma en cuenta la cantidad de kilo watt hora año de ahorro y se multiplica por el precio promedio de referencia del kilo watt hora según el estrato; de esta manera se obtiene el ahorro económico anual (energía que deja de comprar a la red) para los estrato uno y dos. La Ecuación 3 presenta lo descrito anteriormente.

J: Ahorro de energía anual

M: Precio promedio kilo watt hora (según estrato)

L: Ahorro económico anual (según estrato)

$$J * M = L$$

Ecuación 3

La Tabla 10 presenta el resultado para cada tecnología del análisis descrito anteriormente.

Precio promedio referencia [\$/ kWh]	Estrato 1	Estrato 2	
	166,83	208,01	
Tecnología	Ahorro de energía anual [kWh/año]	Ahorro económico anual Estrato 1 [\$/año]	Ahorro económico anual Estrato 2 [\$/año]
Estantes de luz	-42,2	-7 033,6*	-8 770,0*
Paneles cortados a laser	21,1	3 521,8	4 391,2
Guías de luz sombreado	-57,7	-9 634,5*	-12 013,0*
Aberturas anidolicas cenitales	34,9	5 815,7	7 251,5
Tragaluz angular selectivo	33,6	5 607,2	6 991,5
Ducto solar	38,2	6 367,9	7 940,0
Claraboyas circulares	8,9	1 478,1	1 843,0
Persianas	-6,4	-1 061,0*	-1 323,0*

*Nota: El negativo significa incremento económico en el consumo de energía eléctrica

Tabla 10. Potencial ahorro económico

Para efectos de recuperación de la inversión se presenta un análisis financiero general estimando el costo de cada tecnología para ser implementada en la vivienda y el tiempo para el cual se recupera esta inversión basados en los ahorros anuales obtenidos de la Tabla 10 (ver anexo E).

Para efectos de este análisis se considera que los valores de referencia son los costos directos del presupuesto de la vivienda obtenido del portal SECOP [21] y que el precio del kWh en el año se incrementa en un tasa cuasi constante del 1,9 % anual [32]. Adicionalmente, se considera para la inflación anual el valor calculado promedio de la inflación en Colombia de los últimos cinco (5) años (2,82%) [33].

Para estimar los años de recuperación de la inversión inicial (la cual hace referencia al costo de cada tecnología de iluminación natural), se utiliza la Ecuación 4 de

una anualidad creciente [34] debido a que el precio de la energía eléctrica se incrementa año-año. Se deben estimar los años (n), en el cual el valor presente (VP) de la anualidad con el interés respectivo (i) y tasa de crecimiento (g) es igual al valor del costo de la tecnología seleccionada. La Tabla 11 presenta los resultados obtenido de este análisis.

$$VP = \frac{A}{i - g} \left[1 - \left(\frac{1 + g}{1 + i} \right)^n \right]$$

Ecuación 4

VP= Valor presente neto.

A= Valor anualidad.

i= Interés anual.

g= Tasa de crecimiento de la anualidad

n= numero de periodos anualidad.

Año recuperación de la inversión e inversión inicial							
Inflación anual	2,82%	Incremento precio energía eléctrica			1,90%		
Tecnologías	Ahorro de energía anual [kWh/año]	Ahorro económico anula Estrato 1 [\$año]	Ahorro económico anual Estrato 2 [\$año]	Inversión inicial [\$]	Recuperación de la inversión Estrato 1 [Años]	Recuperación de la inversión Estrato 2 [Años]	
Estantes de luz	-42,2	-7 033,6*	-8 770,0*	65 127,8	Na***	Na***	
Paneles cortados a laser	21,1	3 521,8	4 391,2	140 560,2	51	39	
Guías de luz sombreado	-57,7	-9 634,5*	-12 013,0*	122 511,4	Na***	Na***	
Aberturas anidolicas cenitales	34,9	5 815,7	7 251,5	393 277,8	108	77	
Tragaluz angular selectivo	33,6	5 607,2	6 991,5	120 059,1	24	19	
Ducto solar	38,2	6 367,9	7 940,0	3 768 000,0	IND**	IND**	
Claraboyas circulares	8,9	1 478,1	1 843,0	78 102,7	74	54	
Persianas	-6,4	-1 061,0*	-1 323,0*	255 500,0	Na***	Na***	

*incremento económico en el consumo de energía eléctrica.

** IND: indeterminado debido al alto costo de la inversión inicial.

*** Na: no aplica debido a que no existe ahorro potencial.

Tabla 11. Tiempo recuperación de la inversión

Para el análisis de presupuesto se consideran tanto la estimación de los costos de cada tecnología de iluminación natural (materiales, mano de obra e instalación) descrito en el Anexo E como los costos de construcción de la vivienda basados. En la Tabla 12 se presentan los elementos que habría que reemplazar o modificar al ubicar la tecnología de iluminación natural y el costo de cada ítem según el presupuesto obtenido en el portal SECOP [21].

Ítem	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario [\$]	Valor total [\$]
Placa aligera impermeabilizada e=0.2 m incluye refuerzo vivienda medianera	m ²	21,38	113 964,0	2 436 550,0
Carpintería metálica ventanas	m ²	3,61	81 288,0	293 450,0
Suministro e instalación de vidrio 3 mm	m ²	0,97	20 394,0	19 782,0
Suministro e instalación de vidrio 4 mm	m ²	3,11	29 870,0	92 896,0

Tabla 12. Costo por ítem afectado por la ubicación de la tecnología

Para estimar el impacto que se tiene sobre el costo directo de la vivienda tipo seleccionada se presenta el siguiente procedimiento y un ejemplo del cálculo del mismo:

A: Costo directo vivienda: 23 268 657,0

B: Ítem modificado por ubicación tecnología: ventana

C: Cantidad inicial (dentro presupuesto inicial): 4,08 m² (vidrios)

D: Costo sobre el presupuesto inicial: 112 678,0

E: Cantidad final (nuevo elemento ubicado): 4,08 m² Paneles cortados a laser

F: Costo sobre el presupuesto: 300 000,0

G: Total presupuesto vivienda (con tecnología)

$$G = (A - D) + F = (23\,268\,657 - 112\,678) + 140\,560,26 = 23\,296\,539,26$$

Ecuación 5

La Tabla 13 presenta los resultados de este análisis.

Tecnologías	A [\$]	B	C	D [\$]	E	F [\$]	G [\$]
Paneles cortados a laser	23 268 657,0	Ventana	4 m ²	112 678,0	4,08 m ²	140 560,0	23 296 539,0
Estantes de luz	23 268 657,0	Ventana	4 m ²	0*	4 unid	65 127,0	23 333 784,0
Guias de luz sombreada	23 268 657,0	Ventana	4 m ²	0*	4 unid	122 511,0	23 391 168,0
Persianas	23 268 657,0	Ventana	4 m ²	0*	4 unid	255 600,0	23 253 857,0
Ducto solar	23 268 657,0	Placa techo	21 m ²	128 890,0	4 unid	3 768 000,0	26 907 766,0
Aberturas anidolicas	23 268 657,0	Placa techo	21 m ²	104 846,0	4 unid	393 277,0	23 557 087,0
Tragaluz angular	23 268 657,0	Placa techo	21 m ²	104 846,0	4 unid	120 059,0	23 283 869,0
Claraboya circular	23 268 657,0	Placa techo	21 m ²	128 890,0	4 unid	78 102,0	23 241 913,0

*Nota: no se debe realizar la resta debido a estas no modifican el elemento sobre el cual se ubican

Tabla 13. Incremento en el costo directo de la vivienda

La Tabla 14 presenta un resumen de los resultados obtenidos para las tecnologías de iluminación natural que presentaron un ahorro de energía eléctrica anual por el concepto de iluminación.

Tecnologías	Costo inversión total [\$]	Recuperación de la inversión Estrato 1 [Años]	Recuperación de la inversión Estrato 2 [Años]	Incremento costo vivienda*
Paneles cortados a laser	140 560,2	51	39	0,1%
Aberturas anidolicas cenitales	393 277,8	108	77	1,2%
Tragaluz angular selectivo	120 059,1	24	19	0,06%
Ductos solares	3 768 000,0	IND*	IND*	15%
Claraboyas circulares	78 102,7	74	54	-0,2%

*Nota: costos directo vivienda, IND: indeterminado debido al alto costo de la inversión inicial

Tabla 14. Análisis financiero de viabilidad aplicación tecnologías

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los análisis de los resultados obtenidos en la simulación de las diferentes alternativas de iluminación natural propuestas en el trabajo de grado.

La tecnología que presenta el mayor ahorro de energía eléctrica es el ducto solar con una reducción de 38 [kWh/año].

La claraboya circular muestra un ahorro potencial de 8,9 [kWh/año], es la tecnología que obtiene el menor ahorro de energía eléctrica.

De acuerdo a con los resultados de la simulación energética las guías de luz sombreada, los estantes de luz y persianas, incrementaron los consumos de energía eléctrica en 57,7 [kWh/año] 42,1[kWh/año], 6,4 [kWh/año] respectivamente, esto se debe a que estas tecnologías son sistemas de iluminación natural con sombreado, los cuales reducen el ingreso de luz natural directa evitando deslumbramiento e incremento de temperatura en la vivienda, pero adicionalmente ofrecen otros beneficios.

Los ductos solares son la tecnología con mayor costo de inversión con un valor de \$3 768 000,00 COP en comparación a las demás tecnologías, generando un incremento del 15% en el costo directo de la vivienda.

La tecnología con el menor valor de inversión son las claraboyas circulares presentando un costo de \$78 102,7 COP, generando una reducción en el costo directo de la VIS de 0,2%.

El tragaluz angular selectivo tiene el tiempo de recuperación de la inversión más bajo en comparación con las demás tecnologías de iluminación natural.

No es posible recuperar la inversión de los ductos solares con el ahorro anual financiero de energía eléctrica en un determinado periodo de tiempo al aplicar esta tecnología.

Las tecnologías potencialmente viables a implementar en la VIS de acuerdo con estos resultados son: el tragaluz angular selectivo, los paneles cortados a laser, claraboya circular y aberturas anidólicas cenitales debido a que producen un bajo incremento en el costo directo de la vivienda y generan un ahorro de energía eléctrica.

9. CONCLUSIONES

En esta sección son presentadas las conclusiones más relevantes de este trabajo de grado así como algunas recomendaciones para continuar realizando estudios y análisis en esta línea de investigación.

Al seleccionar el diseño de la vivienda tipo los criterios considerados fueron: 1) La ubicación de la vivienda según la disponibilidad de datos climatológicos, ya que estos son utilizados para evaluar el desempeño de cada tecnología de iluminación natural seleccionada; 2) La flexibilidad en el diseño para la implementación de las tecnologías de iluminación natural y 3) El diseño tipo arquitectónico de la vivienda, debido a que determina las posibles ubicaciones de las tecnologías para la toma de luz natural.

Según la investigación realizada, existe una gran variedad de tecnologías de iluminación natural aplicables a edificaciones, cada una con características diferentes de aplicación, posición en la edificación e influenciadas por la ubicación geográfica del proyecto debido a la trayectoria del sol, clima, estaciones, entre otras, para lo cual la selección de cada una debe ser considerada desde la concepción del diseño del proyecto, ya que éstas influyen en los espacios diseñados y forma de la edificación. Finalmente, es a criterio del profesional a cargo elegir la tecnología de iluminación natural que mejor se ajuste a las necesidades del proyecto.

De acuerdo a los resultados obtenidos con la herramienta de simulación “DesignBuilder”, es viable la aplicabilidad de algunas tecnologías de iluminación natural en viviendas de interés social, ya que se estima un ahorro en el consumo de energía eléctrica y el incremento en el costo directo de la vivienda no es significativo (máximo 1,24%). Adicionalmente la iluminación con luz natural tiene beneficios fisiológicos y psicológicos sobre las personas, como son: mejora el estado de

ánimo, disminuye el cansancio visual, entre otros, que son valores agregados de la aplicación de las tecnologías los cuales no son posibles cuantificar económicamente.

El comportamiento energético de las tecnologías de iluminación natural dependen de una gran variedad de factores, dentro de los más importantes se encuentran, la tasa ocupación de la vivienda por que determina cuando se requiere iluminación en cada lugar (habitaciones, sala-comedor, entre otros); el nivel de iluminación, el cual depende de la labor desempeñada; los datos meteorológicos, que determina la cantidad de luz disponible en el transcurso del año; la ubicación geográfica, por que define la orientación de la vivienda respecto al sol.

Las tecnologías de iluminación natural identificadas para implementar en la vivienda, con la mejor relación en reducción del gasto económico por consumo de energía eléctrica son: el tragaluz angular selectivo (6,9%), los paneles cortados a laser (4,3%), las aberturas anidólicas cenitales (7,1%), las claraboyas circulares (1,8%), ya que estas presenta un bajo incremento en el costo directo de la vivienda y se puede recuperar la inversión en el tiempo, a pesar de que estos periodos sean largos. Además se adquieren valores agregados como reducción de emisiones de CO₂, ambientes más agradables y frescos que a futuro generan beneficios que no son posibles cuantificar económicamente. Las claraboyas en particular generan una reducción en el costo directo de la vivienda (0,22%) debido a su bajo costo haciendo de estas las más viables para implementar.

Existe una gran deficiencia en el estudio de esta temática en Colombia, haciendo difícil este tipo de investigaciones debido a la falta de información, y reducido número de empresas dedicadas a aplicaciones sostenibles; por lo cual es importante estimular este tipo de investigaciones para ampliar el conocimiento en este campo e impulsar la implantación de tecnologías de iluminación natural en el país.

La realización de este trabajo de grado ha reforzado nuestra formación profesional en los siguientes aspectos: concientización del uso adecuada de los recursos naturales, aprovechamiento de la luz natural como recurso renovable para la iluminación interior, exploración de una nueva área en crecimiento en el contexto de la ingeniería eléctrica en nuestro país, diseñar sistemas de iluminación más eficientes para edificaciones ayudando a la sostenibilidad energética.

10. RECOMENDACIONES

Para futuros estudios en esta temática, a continuación se hacen algunas recomendaciones:

Se debe continuar profundizando en la investigación en este campo a fin de ampliar los conocimientos sobre tecnologías de iluminación natural y su aplicación, ya que en Colombia es casi nula la información y desarrollo de aplicaciones en esta línea.

Es necesario para futuros proyectos realizar una investigación sobre los consumos de energía eléctrica debidos a la iluminación artificial para la ciudad de Bucaramanga.

Se recomienda que para cada proyecto en particular, en el cual se pretenda utilizar tecnologías de iluminación natural, se debe hacer un análisis previo del sitio, ubicación, orientación de la vivienda, ya que el desempeño de cada tecnología depende en gran medida de los factores anteriormente expuestos.

Se debe tener en cuenta los valores agregados al implementar las tecnologías de iluminación natural sobre el impacto medio ambiental como son reducción en contaminación, reducción el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica entre otros.

La masificación de la implementación y fabricación de las tecnologías de iluminación natural reducirá los costos de éstas, permitiendo que a futuro se tengan costos de inversión más bajos y tiempos de recuperación igualmente menores.

REFERENCIAS

- [1] A. O. Pinto, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2011.
- [2] C. General and C. V. Franco, Alumbrado Interior de Edificaciones Residenciales: Guía didáctica para el buen uso de la energía. 2007.
- [3] C. Ambiental, U. Eficiente, M. Monitorización, and E. Construidos, Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. 2012.
- [4] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios. Madrid, 2005.
- [5] M. De Ambiente, Calidad en la Vivienda de Interés Social, Aincol. Bogotá, 2011.
- [6] N. Catherine and D. Sarmiento, Factibilidad Técnica de Aplicaciones Energéticas para Viviendas de Interés Social Según el Enfoque de Viviendas NET ZERO ENERGY. Bucaramanga, 2013.
- [7] G. Anaya, C. Avellaneda, and J. Cardenas. Influencia de parámetros de diseño de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energéticos en las instalaciones del quinto piso del edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de simulaciones con DesignBuilder. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2013.
- [8] I. R. Silva, Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica. 2009.
- [9] M. de minas y Energía, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP, no. 18. Bogotá, 2009.
- [10] M. de M. y Energía, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE. Bogotá, 2008.
- [11] L. Lesur, Manual de iluminación: Guía paso a paso. México: Trillas, 2009.
- [12] E. S. S. L, "Luz Natural y Eficiencia Energética aprenda a usar la luz natural para ahorrar dinero," 2009.
- [13] ATECOS, Criterios de diseño con luz natural. España: ATECOS.

- [14] E. Imel, "Iluminación Natural," 2011.
- [15] E. Congreso, D. E. República, A. Plan, N. D. E. Desarrollo, Y. P. D. E. Inversiones, A. Propósitos, D. E. L. Estado, Y. E. L. Pueblo, and C. Durante, "Plan Nacional de desarrollo y Plan de inversiones 2011-2014." Bogotá, 2014.
- [16] C. R. de Colombia, Ley 388 de 1997, vol. 1997, no. 43. Bogotá D.C, 1997.
- [17] D. G. DANE, La Estratificación Socioeconómica en el Régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios. Bogotá D.C, 1994, pp. 1–8.
- [18] H. Adarme, A. Jaimes, and H. Roballo, Aplicabilidad de Tecnologías en Iluminación natural para una Vivienda de Interés Social tipo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014.
- [19] M. Monroy, Manual de diseño ICARO: Manual de la Iluminación. Islas Canarias: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, 2006.
- [20] INVISBU, Planos Proyecto Paseo la Feria IV Etapa. Bucaramanga: INVISBU, 2013, p. 25.
- [21] S. E. de C. Publica, Sistema Electrónico de Contratación Pública. Bucaramanga, 2013.
- [22] DANE (Departamento Administrativo Nacional De Estadística), Metodología Índice de Costos de la Construcción de Vivienda. Bogotá D.C, 2009.
- [23] M. Meneses and O. Pulido, Evaluación De las Estrategias de Confort Visual Y Térmico Establecidas Para El Edificio De Ingeniería Eléctrica Según Lineamientos Del Sistema De Certificación LEED A Partir De La Herramienta DesignBuilder. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2012.
- [24] R. Hernandez, O. Irulegi, and M. Fernandez, Arquitectura Ecoeficiente Tomo I. San sebastian, España: Universidad del Pais Vasco, 2012.
- [25] "Wikipedia, «Wikipedia,» 12 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n>. [Último acceso: 12 Abril 2014].," p. 2014, 2014.
- [26] "solarq, «solarq,» 11 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://www.solarq.com/index.php/modelado-3d>. [Último acceso: 11 Abril 2014].," p. 2014, 2014.

- [27] C. Nacional, S. Rep, P. D. E. Acci, P. L. A. Focalizaci, D. E. L. O. S. S. P. Servicios, and B. D. Ministerio, Plan De Acción Para La Focalización De Los Subsidios Para Servicios Públicos Domiciliarios. Bogotá D.C: Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2005.
- [28] "EUROLOCK, «EUROLOCK,» 2012. [En línea]. Available: http://www.persianaseurolock.cl/persianas_beneficios.php. [Último acceso: 23 Mayo 2014].," 2014.
- [29] "C. y. Persianas, «Cortinas y persianas, Ambientes con Mucho Estilo,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.cortinasypersianas.com.co/persianas/persianas-en-aluminio.html>. [Último acceso: 23 Mayo 2014].," 2014.
- [30] "WIKIPEDIA, «WIKIPEDIA,» 19 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Persiana>. [Último acceso: 23 Mayo 2014].," 2014.
- [31] "P. Baldo, «ARQ,» 2013. [En línea]. Available: http://arq.clarin.com/construccion/Recursos-aprovechar-luz-sol_0_1045096041.html. [Último acceso: 23 Mayo 2014].," 2014.
- [32] R. Ignacio, F. Ashton, L. Carlos, R. Bello, and M. F. Manzanera, Estudio Sectorial de Energía Eléctrica, Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo 2012 Contenido. D.C: Superintendencia De Servicios Públicos Domiciliarios, Bogotá 2013.
- [33] Indicadores Económicos e Información Financiera: índices de inflación. Instituto Nacional de Contadores Públicos de Colombia, Bogotá 2014.
- [34] "Wikipedia, «Wikipedia.org,» Wikipedia.org, Febrero 15 2014. [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Valor_tiempo_del_dinero. [Último acceso: 15 Marzo 2014].," 2014.
- [35] I. E. A. (IEA), Daylight in Buildings, no. 888. Washington DC, USA: IEA, 2000.
- [36] M. L. Gutiérrez, Aprovechamiento Eficiente De La Luz Diurna En Las Aulas Tipo CAPFCE De la Universidad De Colima, Campus Coquimatlan, col. Coquimatlan, Mexico: Universidad de Colima.

- [37] M. de Asiain, Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura. Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas, 2003.
- [38] Alibaba, Global Trade Start Here. 2011.
- [39] P. y claraboyas Matilla, "Catalogo: Soluciones Claras Para Espacios Oscuros." Plásticos y claraboyas Matilla, 2013.
- [40] ARQHYS, ARQHYS.com. 2012.
- [41] Solatube, Catalogo: Sistema de Iluminación Natural. 2013.
- [42] SOLATUBE, "Folleto Solatube." 2013.
- [43] "Eosolarsur, «eosolarsur (ingeniería y energías renovables),» 2011. [En línea]. Available: <http://www.eosolarsur.com/iluminacion-eficiente/tubos-solares>. [Último acceso: 21 agosto 2013].," p. 2013, 2013.
- [44] "Catalogo: Cortinas para decorar oficinas," 2013.
- [45] "DesignBuilder,» DesignBuilder, 2014. [En línea]. Available: http://www.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.designbuilder.co.uk%2Fhelpv3.2%2F%23_Window_w_shading_internal_1.htm&h=nAQHUCyPB. [Último acceso: 2 Febrero 2014].," 2014.
- [46] M. Perez, Validación de la iluminación de los métodos experimentales cie e ies en un modelo real con ventanas en dos orientaciones. Madrid, España: Universidad Politécnica De Madrid, 2007.
- [47] D. Molano, "Caracterización De Las Familias En Colombia," no. 64. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Bogota D.C, 2012.

BIBLIOGRAFIA

A. O. Pinto, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga 2011.

Alibaba, Global Trade Start Here. 2011.

ARQHYS, ARQHYS.com. 2012.

ATECOS, Criterios de diseño con luz natural. España: ATECOS.

C. Ambiental, U. Eficiente, M. Monitorización, and E. Construidos, Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. 2012.

“Catalogo: Cortinas para decorar oficinas,” 2013.

“C. y. Persianas, «Cortinas y persianas, Ambientes con Mucho Estilo,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.cortinasypersianas.com.co/persianas/persianas-en-aluminio.html>. [Último acceso: 23 Mayo 2014].,” 2014.

C. General and C. V. Franco, Alumbrado Interior de Edificaciones Residenciales: Guía didáctica para el buen uso de la energía. 2007.

C. Nacional, S. Rep, P. D. E. Acci, P. L. A. Focalizaci, D. E. L. O. S. S. P. Servicios, and B. D. Ministerio, Plan De Acción Para La Focalización De Los Subsidios Para Servicios Públicos Domiciliarios. Bogotá D.C: Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2005.

C. R. de Colombia, Ley 388 de 1997, vol. 1997, no. 43. Bogotá D.C, 1997.

.DANE (Departamento Administrativo Nacional De Estadística), Metodología Índice de Costos de la Construcción de Vivienda. Bogotá D.C, 2009.

“DesignBuilder,» DesignBuilder, 2014. [En línea]. Available: http://www.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.designbuilder.co.uk%2Fhelpv3.2%2F%23_Windows_shading_internal_1.htm&h=nAQHUCyPB. [Último acceso: 2 Febrero 2014].,” 2014.

D. G. DANE, La Estratificación Socioeconómica en el Régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios. Bogotá D.C, 1994, pp. 1–8.

D. Molano, “Caracterización De Las Familias En Colombia,” no. 64. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Bogota D.C, 2012

E. Congreso, D. E. República, A. Plan, N. D. E. Desarrollo, Y. P. D. E. Inversiones, A. Propósitos, D. E. L. Estado, Y. E. L. Pueblo, and C. Durante, “Plan Nacional de desarrollo y Plan de inversiones 2011-2014.”Bogota, 2014.

E. Imel, “Iluminación Natural,” 2011.

“Eosolarsur, «eosolarsur (ingeniería y energías renovables),» 2011. [En línea]. Available: <http://www.eosolarsur.com/iluminacion-eficiente/tubos-solares>. [Último acceso: 21 agosto 2013].,” p. 2013, 2013.

E. S. S. L, “Luz Natural y Eficiencia Energética aprenda a usar la luz natural para ahorrar dinero,” 2009.

“EUROLOCK, «EUROLOCK,» 2012. [En línea]. Available: http://www.persianaseurolock.cl/persianas_beneficios.php. [Último acceso: 23 Mayo 2014].,” 2014.

G. Anaya, C. Avellaneda, and J. Cardenas. Influencia de parámetros de diseño de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energéticos en las instalaciones del quinto piso del edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de simulaciones con DesignBuilder. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2013.

H. Adarme, A. Jaimes, and H. Roballo, Aplicabilidad de Tecnologías en Iluminación natural para una Vivienda de Interés Social tipo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014.

Indicadores Económicos e Información Financiera: índices de inflación. Instituto Nacional de Contadores Públicos de Colombia, Bogotá 2014.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios. Madrid, 2005.

INVISBU, Planos Proyecto Paseo la Feria IV Etapa. Bucaramanga: INVISBU, 2013, p. 25.

I. E. A. (IEA), Daylight in Buildings, no. 888. Washington DC, USA: IEA, 2000.

I. R. Silva, Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica. 2009.

L. Lesur, Manual de iluminación: Guía paso a paso. México: Trillas, 2009.

M. De Ambiente, Calidad en la Vivienda de Interés Social, Aicol. Bogotá, 2011.

M. de Asiain, Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura. Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas, 2003.

M. de M. y Energía, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE. Bogotá, 2008.

M. de minas y Energía, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público-RETILAP, no. 18. Bogotá, 2009.

M. Monroy, Manual de diseño ICARO: Manual de la Iluminación. Islas Canarias: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, 2006.

M. Meneses and O. Pulido, Evaluación De las Estrategias de Confort Visual Y Térmico Establecidas Para El Edificio De Ingeniería Eléctrica Según Lineamientos Del Sistema De Certificación LEED A Partir De La Herramienta DesignBuilder. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2012.

M. L. Gutiérrez, Aprovechamiento Eficiente De La Luz Diurna En Las Aulas Tipo CAPFCE De la Universidad De Colima, Campus Coquimatlan, col. Coquimatlan, Mexico: Universidad de Colima.

M. Pérez, Validación de la iluminación de los métodos experimentales cie e ies en un modelo real con ventanas en dos orientaciones. Madrid, España: Universidad Politécnica De Madrid, 2007.

N. Catherine and D. Sarmiento, Factibilidad Técnica de Aplicaciones Energéticas para Viviendas de Interés Social Según el Enfoque de Viviendas NET ZERO ENERGY. Bucaramanga, 2013.

“P. Baldo, «ARQ,» 2013. [En línea]. Available: http://arq.clarin.com/construccion/Recursos- aprovechar-luz-sol_0_1045096041.html. [Último acceso: 23 Mayo 2014].,” 2014.

P. y claraboyas Matilla, “Catalogo: Soluciones Claras Para Espacios Oscuros.” Plásticos y claraboyas Matilla, 2013.

R. Hernandez, O. Irulegi, and M. Fernandez, Arquitectura Ecoeficiente Tomo I. San sebastian, España: Universidad del Pais Vasco, 2012.

R. Ignacio, F. Ashton, L. Carlos, R. Bello, and M. F. Manzanera, Estudio Sectorial de Energía Eléctrica, Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo 2012 Contenido. D.C: Superintendencia De Servicios Públicos Domiciliarios, Bogotá 2013.

S. E. de C. Publica, Sistema Electrónico de Contratación Pública. Bucaramanga, 2013.

“solarq, «solarq,» 11 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://www.solarq.com/index.php/modelado-3d>. [Último acceso: 11 Abril 2014].,” p. 2014, 2014.

Solatube, Catalogo: Sistema de Iluminación Natural. 2013.

SOLATUBE, “Folleto Solatube.” 2013.

“Wikipedia, «Wikipedia,» 12 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Simulaci%C3%B3n>. [Último acceso: 12 Abril 2014].,” p. 2014, 2014.

“WIKIPEDIA, «WIKIPEDIA,» 19 Mayo 2014. [En línea]. Available: <http://es.wikipedia.org/wiki/Persiana>. [Último acceso: 23 Mayo 2014].,” 2014.

“Wikipedia, «Wikipedia.org,» Wikipedia.org, Febrero 15 2014. [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Valor_tiempo_del_dinero. [Último acceso: 15 Marzo 2014].,” 2014.

ANEXOS

ANEXO A. EVALUACIÓN POTENCIAL DE ILUMINACIÓN

Este anexo presenta una descripción más detallada de la metodología implementada para evaluar el potencial de iluminación natural como método de iluminación al interior de la edificación.

A.1. Potencial solar del sitio para iluminación

Una evaluación del potencial solar del sitio, permite establecer la cantidad de luz día aprovechable durante las horas sol al igual que una predicción de su comportamiento [1], [3], [4]. Es de resaltar que demasiada radiación solar produce una mayor temperatura sobre las áreas expuestas [2], [4]. Para mejor entendimiento es necesario definir la radiación solar que se refiere a la energía proveniente del sol y comúnmente medida en $\text{kw/m}^2/\text{día}$, su incidencia sobre un lugar determinada depende su ubicación geográfica, condiciones climáticas, translación y rotación del planeta tierra [1].

La lectura de radiación solar sobre un plano es la suma de tres componentes: radiación directa (componente perpendicular de haz de radiación solar directo sobre el plano), radiación difusa (dispersión de parte de la radiación solar generada en la atmosfera) y radiación reflejada (debida a reflexiones en superficies del entorno) [1].

Bucaramanga está ubicada $7,13^\circ$ latitud norte y $73,13^\circ$ longitud oeste en el departamento de Santander (Colombia), ubicándose en una zona intertropical cerca de la línea ecuatorial, con una altitud de 959 msnm, no posee estaciones climáticas definidas, posee un clima cálido seco y radiación solar elevada todo del año [1].

Para evaluar la radiación solar en un sitio determinado se recomienda que los datos de la mediciones sea de periodos prologados (varios años) y continuos [1]; la Figura A - 1 presenta los resultados de un estudio histórico entre los años 2002 a 2008, datos aportados por corporación para la defensa de la meseta de Bucaramanga, en esta se observa un comportamiento muy estable de radiación solar durante el año, con un promedio anual de 4,9 [kWh/m²/día] [1].

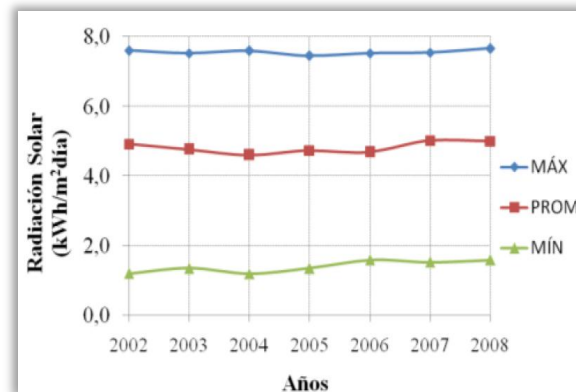


Figura A - 1 Comportamiento histórico de la radiación solar en la ciudad de Bucaramanga [1]

A.2. Obstrucciones cercanas a la edificación

Este análisis tiene por objeto determinar el impacto de obstrucciones circundantes a la edificación y su influencia en el diseño de iluminación natural al interior del recinto, de manera tal que es posible determinar los mejores perfiles (fachadas) para el aprovechamiento de luz natural en relación a la arquitectura de la edificación [1], [3], [4], [11], [19].

Para este análisis fue necesaria la creación de un modelo virtual (utilizando el software Designbuilder) de la vivienda y sus alrededores inmediatos como posibles obstrucciones; se utilizara la opción visualizar, la cual permite observar en tres dimensiones las proyecciones de las sombras producidas por los objetos debi-

da a una exposición de luz semejante a la del sol para un día y hora del año específica, observándose las sombras para los dos solsticios²³ y un equinoccio²⁴ (7 am, 10 am, 12 pm, 2pm, 4 pm) y siendo seleccionado el resultado con mayor cantidad de sombra sobre la edificación

Solsticio 22 de diciembre: Figura A - 2 a Figura A - 6 presentan los resultados de la simulación de obstrucciones de acuerdo a la hora especificada revelando las proyecciones de sombra sobre la vivienda para este día.

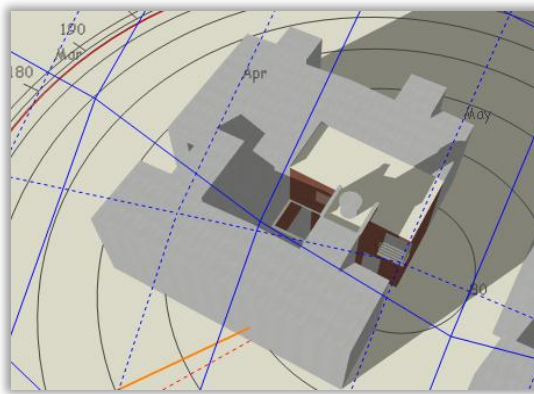


Figura A - 2 Hora: 7 am

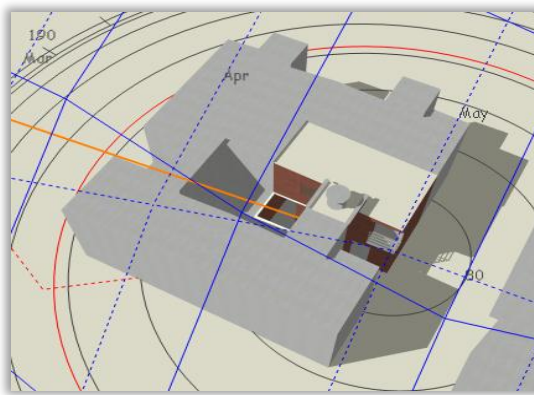


Figura A - 3 Hora: 10 am

²³Solsticios: son los momentos del año en los que el Sol alcanza su mayor o menor altura aparente en el cielo, y la duración del día o de la noche son las máximas del año, respectivamente. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Solsticio>

²⁴Equinoccio: épocas en que los dos polos de la Tierra se encuentran a igual distancia del Sol, cayendo la luz solar por igual en ambos hemisferios. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Equinoccio>

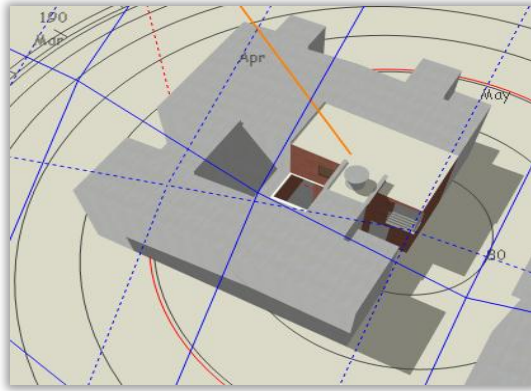


Figura A - 4 Hora: 12 pm

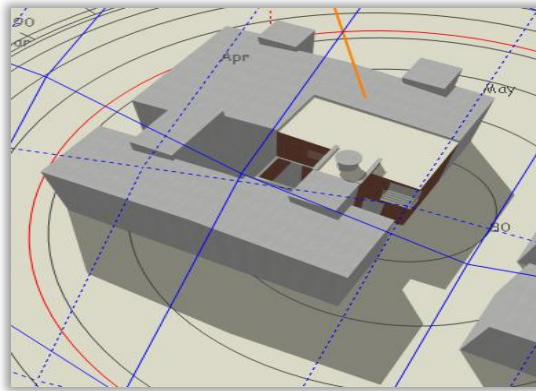


Figura A - 5 Hora: 2 pm

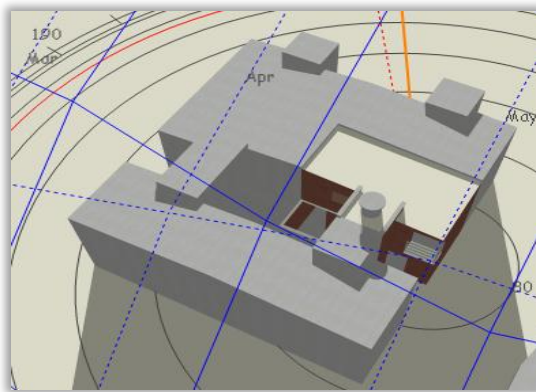


Figura A - 6 Hora: 4 pm

Se observa que a las 7 am las viviendas aledañas generan sombra sobre el patio y la ventana del segundo piso que da a este, además se crea un sombreado parcial propio de la vivienda sobre el balcón; para las 10 am y 12 pm, si no hay sombreado sobre la ventana que da al patio ni sobre este mismo, por tanto reciben radiación directa; después de 2 pm la ventana del segundo piso que da al patio y patio no reciben radiación directa.

Se determinó que la orientación de la vivienda genera sombra sobre su fachada principal para cada hora evaluada.

Equinoccio 22 de marzo: Figura A - 7 a Figura A - 11 presentan los resultados de la simulación de obstrucciones de acuerdo a la hora especificada revelando las proyecciones de sombra sobre la vivienda para este día.

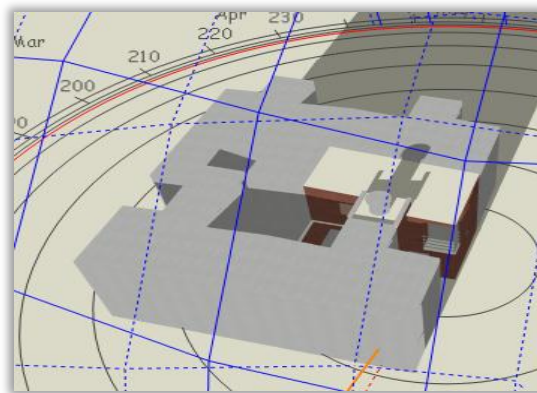


Figura A - 7 Hora: 7 am

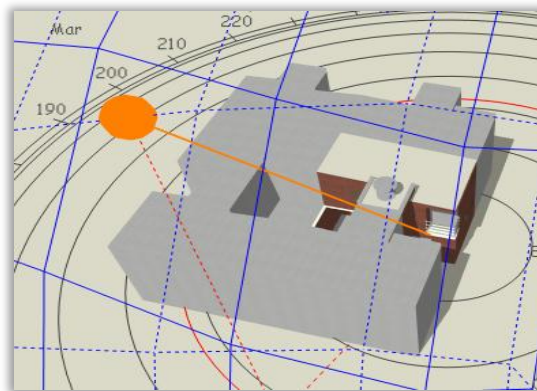


Figura A - 8 Hora: 10 am

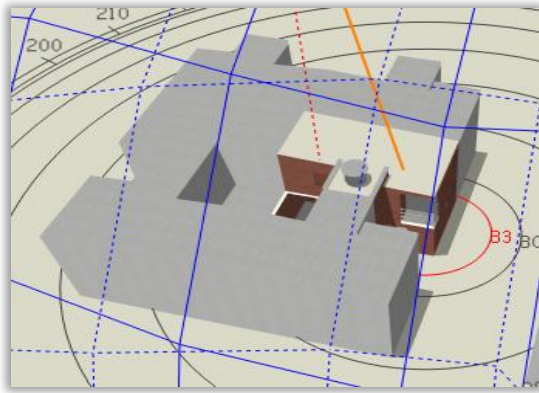


Figura A - 9 Hora: 12 pm

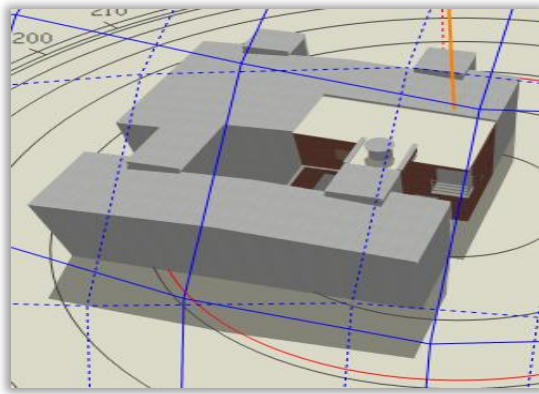


Figura A - 10 Hora: 2 pm

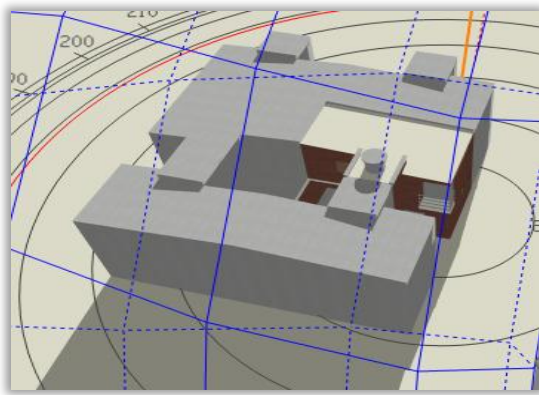


Figura A - 11 Hora: 4 pm

Para las 7 am se observa sombreado sobre el patio de ropas y la ventada del segundo piso dispuesta hacia el patio, el balcón recibe radiación directa parcial; entre las 10 am y 12 pm el patio y ventana ubicada hacia este último reciben radiación directa; de 2 pm a 4 pm el patio y ventana en la parte trasera de la casa no reciben radiación directa.

Se determinó que la orientación de vivienda genera sombra sobre su fachada principal para cada hora evaluada.

Solsticio 21 de junio: Figura A - 12 a Figura A - 16 presentan los resultados de la simulación de obstrucciones de acuerdo a la hora especificada revelando las proyecciones de sombra sobre la vivienda para este día.

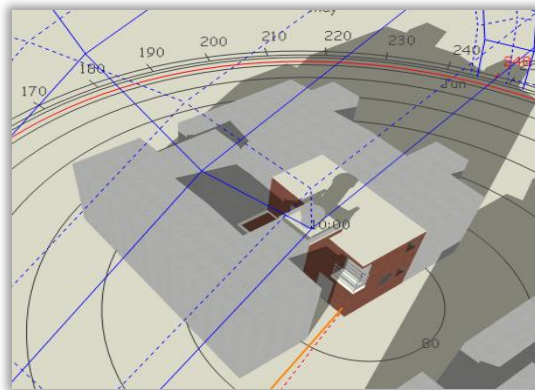


Figura A - 12 Hora: 7 am

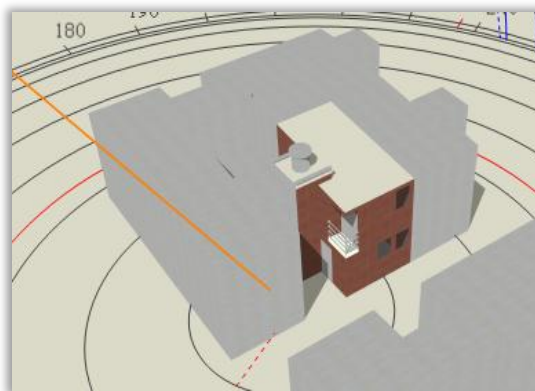


Figura A - 13 Hora: 10 am

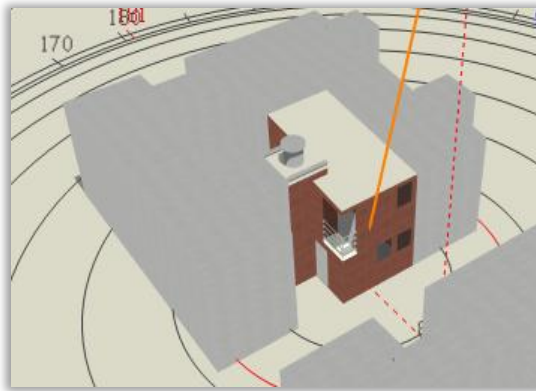


Figura A - 14 Hora: 12 pm

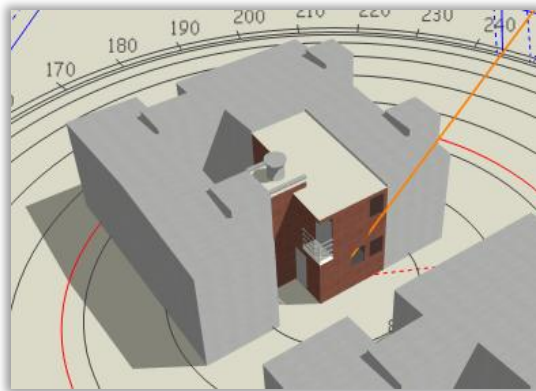


Figura A - 15 Hora: 2 pm

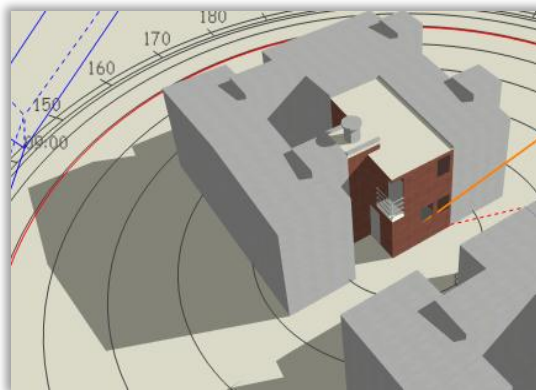


Figura A - 16 Hora: 4 pm

A las 7 am se presenta sombreado en el patio y la ventana ubicada hacia este, para las 10 am a 12 pm el patio y la ventana que se ubica frente en este reciben radiación directa, mientras que el balcón recibe radiación directa parcial; de 2 pm a 4 pm el patio y la ventana trasera de la vivienda no reciben radiación directa.

Se determinó que la orientación de la vivienda no genera sombra sobre su fachada principal para cada hora evaluada.

A.3. Espacio disponibles para implementar las tecnologías

Determinar los espacios (áreas) de la edificación sobre los cuales es viable el montaje de tecnologías para iluminación natural, permite evaluar el tipo y tecnologías en primera instancia que serían candidatas a utilizar sobre la edificación, descartando así tecnologías no viables[1], [3], [4], [24] de tal manera que se han establecido (o unas recomendaciones (Tabla A - 1) para llevar a cabo la elección de las tecnologías recolectadas en la etapa de investigación de recolección de información con base en el diseño estructural y arquitectónico seleccionado.

Criterio	Justificación
Impacto estructural	Este criterio se utiliza para sentar un precedente y advertir que la implementación de las tecnologías debe ser concebida desde las etapas previas de diseño, a fin de evaluar su impacto sobre la edificación. Para el caso concreto de esta investigación este no será considerado como un criterio relevante, ya la implementación de la tecnología en sí misma es virtual no real, sin embargo se prefiere utilizar las aberturas admitidas en la construcción actual.
Espacio necesario	Se recomienda utilizar tecnologías con las mismas formas y tamaños de las aberturas laterales existentes, para el caso de tecnologías de tomas de luz cenital es a criterio del diseñador elegir el tamaño más adecuado.
Tipo de sistema de iluminación	Seleccionar las tecnologías de acuerdo al sistema de iluminación más apropiada para las condiciones del sitio.
Antecedentes	La tecnología seleccionada debe haber sido aplicada o conocerse antecedentes de su funcionamiento (ejemplo: bodegas, colegios, edificios de oficinas) garantizado a si la existencia de fabricantes y utilidad de la misma.
Posibilidad de modelar	La tecnología seleccionada debe poder ser recreada (muy aproximada) en forma virtual en el programa DesignBuilder, ya este es software bajo licencia autorizada destinada para esta investigación.

Tabla A - 1 Recomendación para elección tecnológicas [18]

ANEXO B. TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN NATURAL Y MODELOS VIRTUALES DE TECNOLOGIAS

En esta sección se presentara una breve descripción de las tecnologías de iluminación natural producto de la investigación realizada, en revistas, libros, páginas web y proyectos de grado anteriores. Vale la pena señalar que las tecnologías descritas a continuación son aquellas que durante la investigación en reiteradas ocasiones presentadas en diferentes trabajos relacionados a esta temática, además que el realizar una búsqueda total de esta información es una tarea imposible debido a los continuos desarrollos en estas áreas y gran cantidad de información para revisar.

A continuación se presentan una descripción de las tecnologías seleccionadas y los modelos virtuales realizados el software DesignBuilder para realizar la simulación.

Panel cortado a laser

Es un sistema de re direccionamiento de luz producida por un panel delgado de material acrílico transparente en el cual se han realizado cortes con láser, cada corte es un pequeño espejo que redirección la luz [35], [36].

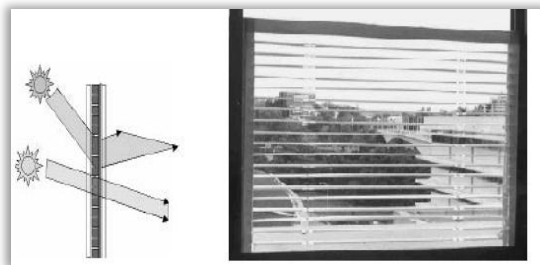


Figura B - 1 Panel cortado a laser [23]

Modelo Panel cortado a laser[36]

Para su realización se utilizó sombreado de ventana, se usó el dispositivo de sombreado slatted blinds (persianas de listones), la posición de la persiana de listones se seleccionó mid-pane (en medio del panel) y el tipo de control se seleccionó schedule (horario); para este control se creó además un archivo de las horas de activación del sombreado. Las dimensiones de la persiana y posición dentro de dos paneles de vidrio se observan en la Figura B - 2 [18].

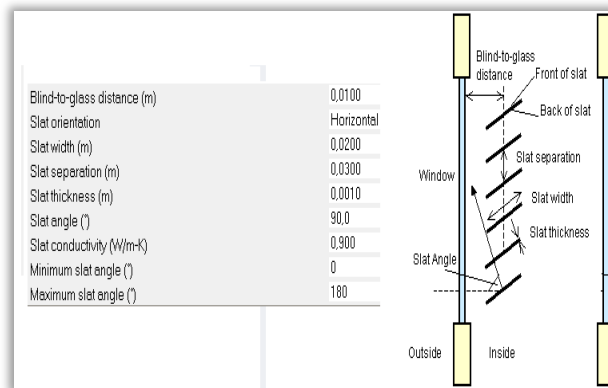


Figura B - 2 Dimensiones persianas de listones [18]

Las características de la persiana de listones se presentan en la Tabla B - 1

Características de la persiana de listones	
Transmitancia ²⁵ de la luz solar directa	0,0
Reflectancia de la luz solar directa	0,99
Transmitancia de la luz solar difusa	0,0
Reflectancia ²⁶ de la luz solar difusa	0,99
Transmitancia de luz visible	0,0
Reflectancia de la luz visible	0,99
Transmitancia de luz difusa	0,0
Reflectancia de luz difusa	0,99

Tabla B - 1 Características persiana de listones [18]

²⁵ Transmitancia óptica: es la fracción de luz incidente a una longitud de onda, que atraviesa un cuerpo. Es adimensional. Fuente: <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>

²⁶ Reflectancia: fracción de luz incidente a una longitud de onda que es reflejada por una superficie. Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Reflectividad>

En la Figura B - 3 se observa el archivo de horas de activación del sombreado, el cual se dejó un valor de cero para que las persianas de listones nunca operen y queden fijas simulando la característica fija de un corte a laser [18].

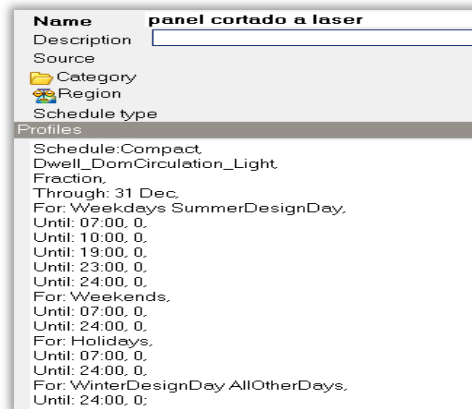


Figura B - 3 Configuración archivo de activación

Se diseñó un tipo de acristalamiento doble, con dos paneles de vidrio, de tal forma que en el interior de ellos incluya completamente la persiana de listones, ello se puede observar en la Tabla B - 2 y la Figura B - 4 presenta una vista del modelo[18].

TIPO ACRISTALAMIENTO	Por capas
Número de capas	2
Panel 1	Generic clear (2,5mm) (vidrio genérico claro 2,5mm)
Capa gas 1	Air 20 mm (aire 20mm)
Panel 2	Generic clear (2,5mm) (vidrio genérico claro 2,5mm)
PROPIEDADES ACRISTALAMIENTO	
Transmisión solar total ²⁷ (SHGC)	0,778
Transmisión solar directa	0,727
Transmisión de luz	0,817

Tabla B - 2 Características modelo panel cortado a laser [18]

²⁷ Transmisión solar total (SHGC- Coeficiente de ganancia de calor solar): es la fracción de radiación solar del haz incidente que entra en la zona por el acristalamiento. Fuente: http://www.designbuilder.co.uk/helpv3.2/#_Glazing_calculated_data.htm%3FTocPath%3DComponents%7CGlazing%7C___2

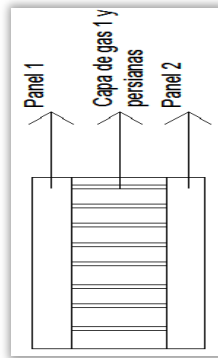


Figura B - 4 Vista modelo panel cortado a laser [18]

Tragaluz angular selectivo con panel cortado a laser

Incorpora una configuración piramidal de paneles cortados con láser dentro de la cubierta para proporcionar control de transmisión de la luz, transmite en mayor medida la luz de baja elevación, se utiliza como una toma de luz cenital y techo de ángulo bajo [35], [37], [38].



Figura B - 5 Tragaluz angular selectivo (con panel cortado a laser) [2]

Modelo Tragaluz angular selectivo con panel cortado a laser.

Para el diseño de esta tecnología se creó un bloque de edificio, se utilizó el panel cortado a laser creado para el acristalamiento de la cubierta, el número de tragaluz seleccionado es de cuatro debido a que cuatro son las zonas de la segunda plan-

ta. La Tabla B - 3 Presenta las dimensiones principales de estas tecnologías y la Figura B - 6 presenta el modelo de este [18].

Dimensiones	
Base	Medida [m]
largo	0,5
ancho	0,5
alto	0,1
Cubierta	Inclinación
Todos lados	45°

Tabla B - 3 Dimensiones tragaluz angular [18]

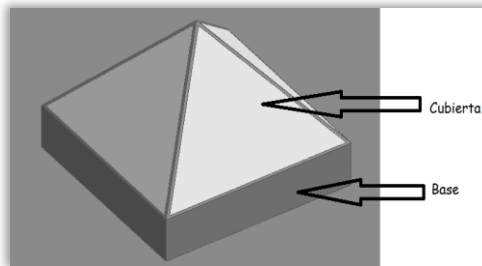


Figura B - 6 Tragaluz angular [18]

Los tragaluces angulares se ubicaron en el centro de cada zona, en el techo de la edificación (ver Figura B - 7), para que la distribución de luz sea lo más uniforme posible en cada zona [18].

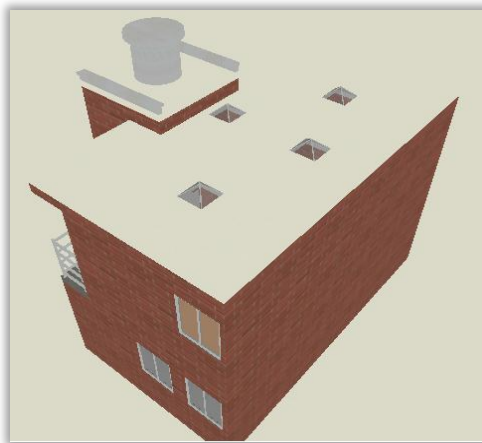


Figura B - 7 Vista isométrica ubicación tecnología [18]

Para las partes de la tecnología que no son acristalamientos, es decir la base y uniones de la cubierta se utilizó aluminio estándar de espesor 1[mm] (ver Tabla B - 4) [18].

Aluminio estándar	
Absorbancia térmica (emisividad)	0,3
Absorbancia solar	0,3
Absorbancia visible	0,3

Tabla B - 4 Propiedades aluminio [18]

Claraboyas circulares:

Abertura horizontal o inclinada construida en la cubierta como toma de luz cenital, difunde la luz día a través de un material translucido, existen de diferentes dimensiones y estas pueden ser de igual o menor tamaño al área al iluminar [4], [11].



Figura B - 8 Claraboya [39]

Modelo Claraboyas circulares

Para el diseño de las claraboyas, se realizó una ventana en el techo de la edificación utilizando la herramienta (Draw window), el número de claraboyas seleccionado fue de cuatro porque cuatro zonas existen en la segunda planta de la vivienda (ver Figura B - 9) [18].

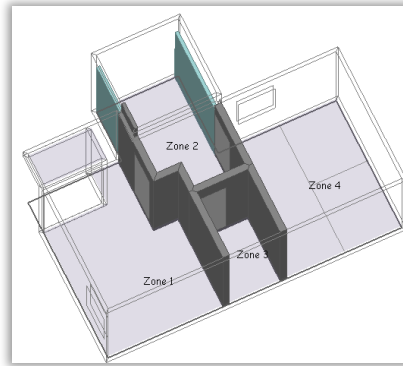


Figura B - 9 Zonas segunda planta [18]

Las claraboyas se ubicaron en el centro de cada zona, en el techo de la edificación, para que la distribución de luz sea lo más uniforme posible en cada zona (ver Figura B - 10) [18].



Figura B - 10 Vista isométrica ubicación tecnología [18]

Las dimensiones de las claraboyas circulares se presentan en la Tabla B - 5

Claraboyas	Dimensiones [m]
Radio	0,3

Tabla B - 5 Dimensiones claraboya circular [18]

Los materiales seleccionados para el modelo de la claraboya circular se presentan en la Tabla B - 6.

Materiales	Tipo de cristal
Capas de cristal	Trp LoE Film(77) Clr 3mm/13mm Air

Tabla B - 6 Materiales modelo claraboyas circulares [18]

En la Tabla B - 7 se presenta una descripción del tipo de acristalamiento de la claraboya y la Figura B - 11 presenta una vista de la composición [18].

Tipo acristalamiento	Trp LoE Film(77) Clr 3mm/13mm Air
Número de capas	3
Panel 1	Generic clear (3mm) (vidrio genérico claro 3mm)
Capa gas 1	Air 13 mm (aire 13mm)
Panel 2	Generic COATED POLY-77 (vidrio genérico recubierto de polímero)
Capa gas 2	Air 13mm (aire 13mm)
Panel 3	Generic clear (3mm) (vidrio genérico claro 3mm)
PROPIEDADES ACRISTALAMIENTO	
Transmisión solar total (SHGC)	0,469
Transmisión solar directa	0,377
Transmisión de luz	0,637

Tabla B - 7 Propiedades y composición del acristalamiento [18]

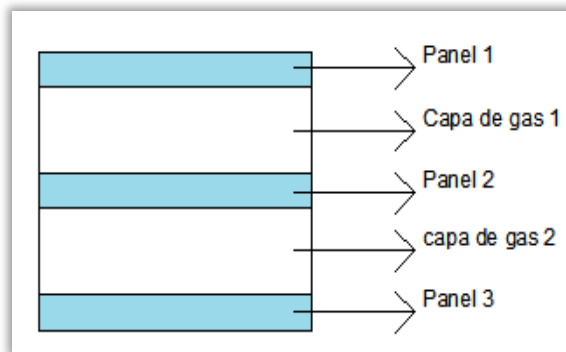


Figura B - 11 Vista modelo acristalamiento [18]

Estantes de luz

Diseñado para re direccionar la luz a la parte superior interior del edificio y proteger contra el deslumbramiento, requiere de un techo relativamente alto, se recomienda utilizarlo en espacios con luz solar directa, puede ser de control manual o motorizado [35],[40].

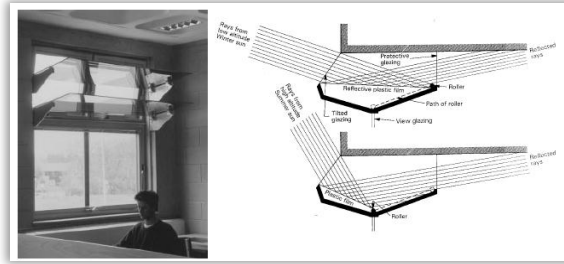


Figura B - 12 Estantes de luz [35]

Modelo Estantes de luz

Para el diseño de los estantes se empleó el sombreado local de una ventana, y se utilizó el dispositivo de sombreado Louvres (lamas), para generar el estante con las dimensiones requeridas y la posición específica en la ventana. En la Figura B - 13 se puede observar la posición y las dimensiones, los estantes están hechos de aluminio reflectante de espesor 0,01m y la Tabla B - 8 presenta sus principales [18].

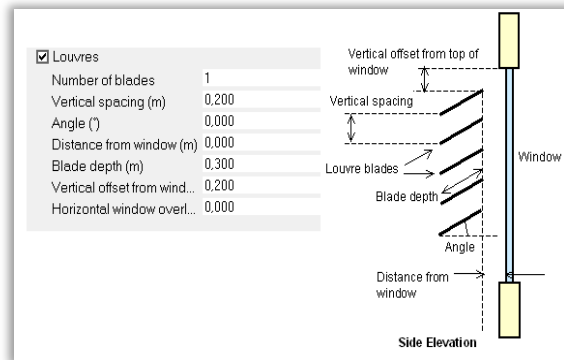


Figura B - 13 Dimensiones y posición sobre la ventana [18]

Aluminio reflectante	
Absorbancia térmica (emisividad)	0,001
Absorbancia solar	0,001
Absorbancia visible	0,001

Tabla B - 8 Propiedades aluminio reflectante [18]

La Figura B - 14 presenta una vista isométrica de la ubicación de los estantes de luz.

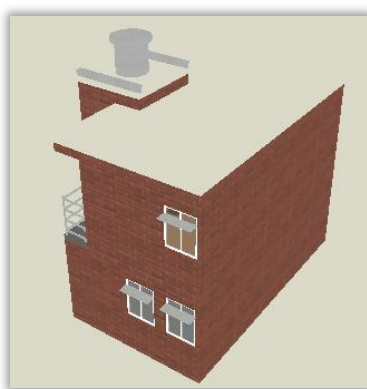


Figura B - 14 Vista isométrica posición estantes [18]

Aberturas anidolicas cenitales

Utiliza la luz difusa para iluminar, levemente dependiente de cambios de iluminación del cielo, constituido por un concentrador y desconcentrador parabólico, la conexión entre el concentrador y desconcentrador se hace con un reflector cilíndrico; es utilizado en techos, son de instalación fija [35], [37].



Figura B - 15 Aberturas anidolicas cenitales [35]

Modelo Aberturas cenitales anidolicas

Para el diseño de esta tecnología se creó un bloque de edificio con las características especificadas en el artículo de la IEA (international energy Agency) [35], el número de aberturas seleccionado es de cuatro porque cuatro son las zonas de la segunda planta de la vivienda [18]. Las dimensiones se muestran en la Tabla B - 9

Abertura anidolica cenital	
lados	Dimensiones [metros]
a	0,64 m
b	0,5 m
c	0,4 m
d	0,3 m
e	0,2 m
f	0,5 m
g	0,5 m
h	0,37 m
j	30 °

Tabla B - 9 Dimensiones aberturas anidolicas cenitales [18]

En la Figura B - 16 se observa los lados y angulos de la abertura anidolica cenital.

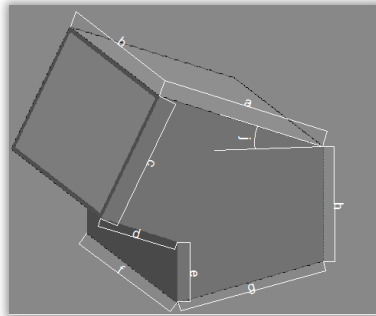


Figura B - 16 Abertura anidolicas cenital [18]

Las aberturas anidolicas cenitales se ubicaron en el centro de cada zona, en el techo de la edificación, para que la distribución de luz sea lo más uniforme posible en cada zona [18]. En la Figura B - 17 se observa su ubicación en la vivienda.



Figura B - 17 Vista ubicación en la vivienda de las aberturas anidolicas cenitales [18]

Los materiales utilizados para la construcción de las aberturas anidolicas cenitales se presentan en la Tabla B - 10

Aluminio reflectante espesor (0,01m)	
Absorbancia térmica (emisividad)	0,001
Absorbancia solar	0,001
Absorbancia visible	0,001
mortero espesor (0,01m)	
Absorbancia térmica (emisividad)	0,001
Absorbancia solar	0,006
Absorbancia visible	0,006
Acrilamiento sgl clr 3mm	
Número de capas	1
Panel 1	Generic clear (3mm) (vidriogénico claro 3mm)
Transmisión solar total (SHGC)	0,861
Transmisión solar directa	0,837
Transmisión de luz	0,898

Tabla B - 10 Materiales utilizados para la construcción de las aberturas anidolicas [18]

En la Figura B - 18 se muestra la conformación de los muros exteriores y el techo de la tecnología.

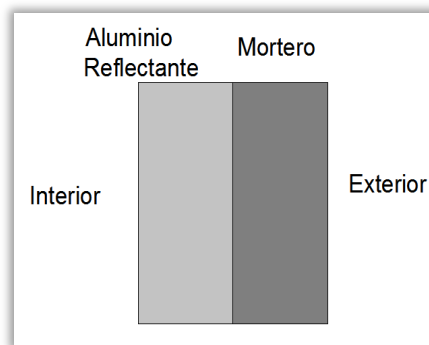


Figura B - 18 Configuración muros exteriores y exteriores aberturas anidolicas cenital [18]

Ductos solares

Posee un elemento óptico que concentra la luz y otro que funciona como emisor de luz. Los reflectores de los ductos solares consisten en superficies de aluminio o baños de plata con una reflectancia del 99.7%, los conductos están rodeados de cristales para evitar que estos se ensucien y deterioren por el polvo y la humedad. No requieren control, se instala en las cubiertas [35], [41], [42], [43].

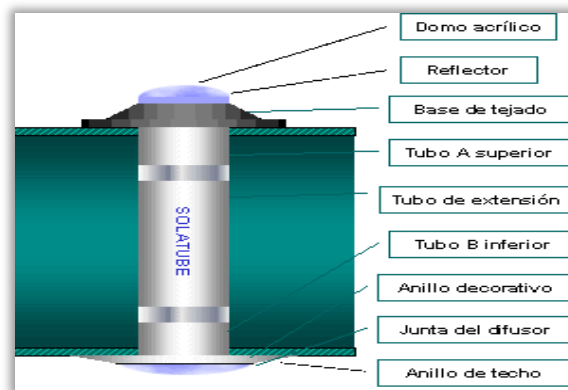


Figura B - 19 Ducto solar [42]

Modelo Ductos solares

Para el diseño de esta tecnología se creó un bloque de edificio, en su parte interna aluminio reflectante y en la externa mortero; el número de ductos seleccionado es

de cuatro porque cuatro son las zonas de la segunda planta de la vivienda [18]. Las dimensiones se muestran en la Tabla B - 11 y la Figura B - 20 presenta el modelo.

Ducto solar	
Lados	Dimensiones [m]
a (Radio)	0,3 m
b (Radio abertura entrada de luz)	0,15 m
c (Altura)	0,3 m

Tabla B - 11 Dimensiones ducto solar [18]

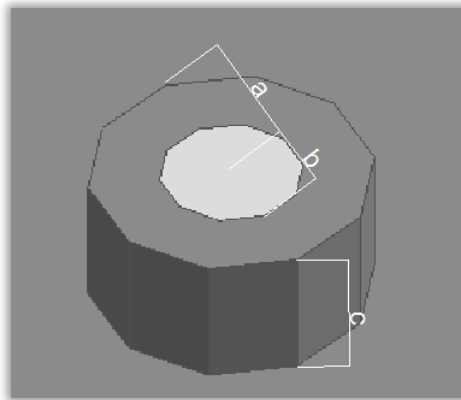


Figura B - 20 Vista modelo ducto solar [18]

Los ductos solares se ubicaron en el centro de cada zona, en el techo de la edificación, para que la distribución de luz sea lo más uniforme posible encada zona. En la Figura B - 21 se observa su ubicación en la edificación.

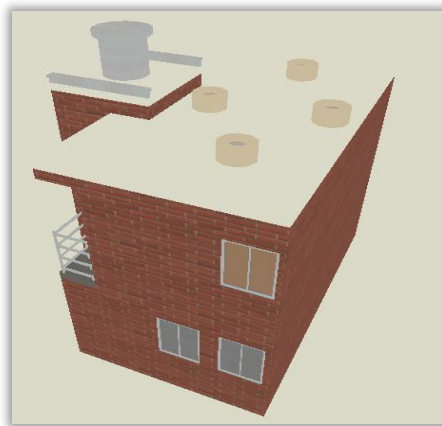


Figura B - 21 Ubicación ductos solares en la vivienda [18]

Los materiales utilizados para la construcción de los ductos solares se muestran en la tabla 7.

Aluminio reflectante espesor (0,01m)	
Absorbancia térmica (emisividad)	0,001
Absorbancia solar	0,001
Absorbancia visible	0,001
mortero espesor (0,01m)	
Absorbancia térmica (emisividad)	0,001
Absorbancia solar	0,006
Absorbancia visible	0,006
Acristalamiento sgl clr 3mm	
Número de capas	1
Panel 1	Generic clear (3mm) (vidrio genérico claro 3mm)
Transmisión solar total (SHGC)	0,861
Transmisión solar directa	0,837
Transmisión de luz	0,898

Tabla B - 12 Materiales utilizados para la construcción de los tubos solares

En la Figura B - 22 se muestra la conformación de los muros exteriores e interiores de la tecnología.

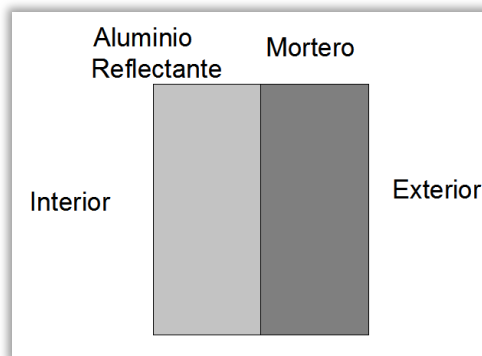


Figura B - 22 Conformación muros exteriores e interiores ductos solares

Sistemas de persianas

Compuestas de listones verticales, horizontales o inclinados, estas disposiciones permiten controlar el exceso de luz al interior y exterior de una edificación, logran obstruir, absorber, reflejar y transmitir la radiación solar (difusa y directa); tipo de control manual o automático, útil en cualquier latitud y ubicaciones geográficas [35],[37], [44].



Figura B - 23 Sistemas de persianas [44].

Modelo Persianas

Para el empleo de persianas se utilizó el sombreado de ventana, seleccionando como tipo (slatted blinds) y dentro de este tipo persianas de alta reflectancia; la posición de las persianas es interior, el tipo de control es de luz solar, la operación que se realiza en la ventana depende de la ubicación de la ventana en la vivienda. Las persianas tienen un espesor de 0,005m. En la Figura B - 24 se observa la plantilla que se llena en el programa, el valor máximo permitido de luz solar que ingresa por la ventana se eligió de 90 y el tipo de operación depende de la zona de la vivienda.



Figura B - 24 Plantilla persianas en DesignBuilder

En la Figura B - 25 se observa la ubicación de la persiana en una ventana.

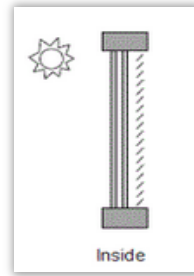


Figura B - 25 Posición de la persiana en una ventana [45]

Las propiedades de las persianas se muestran en la Tabla B - 13

Características de la persiana	
Transmitancia de la luz solar directa	0,1
Reflectancia de la luz solar directa	0,8
Transmitancia de la luz visible	0,7
Reflectancia de la luz visible	0,2

Tabla B - 13 Propiedades de las persianas [18]

En la edificación no se puede observar las persianas, el programa tiene una plantilla que no permite su identificación en la vivienda, pero la utilización de esta plantilla permite simular correctamente esta tecnología.

Guia de luz sombreada

Brinda protección radiación solar, evitando incrementos de temperatura, redirecciona la luz hacia el techo, proporciona luz difusa evitando deslumbramiento, compuesto de materiales reflectantes, puede ser un sistema fijo o móvil, solo requiere limpieza en sus componentes [4], [35], [36].

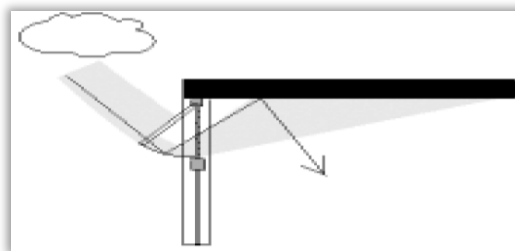


Figura B - 26 Guia de luz sombreada [35]

Guía de luz sombreada

Para el diseño de esta tecnología se creó un bloque de edificio con las características especificadas en el artículo de la IEA (international energy Agency) [35], el número de guías de luz sombreada depende de la cantidad de ventanas que existen en la edificación. En la vivienda existen cuatro ventanas, es decir que se utilizaran cuatro guías de luz sombreada, para su empleo se disminuirá la altura de la ventana, la tecnología tiene el mismo ancho de la ventana.

Las dimensiones de la guía se muestran en la Tabla B - 14

Guía de luz sombreada	
lados	Dimensiones [metros]
a	0,328 m
b	0,253 m
c	0,08 m
d	0,163 m
e	0,8 m
f	0,327 m
g	60°
h	20 °

Tabla B - 14 Dimensiones guía de luz sombreada. [18]

En la Figura B - 27 se observa los lados y ángulos de la guía de luz sombreada.

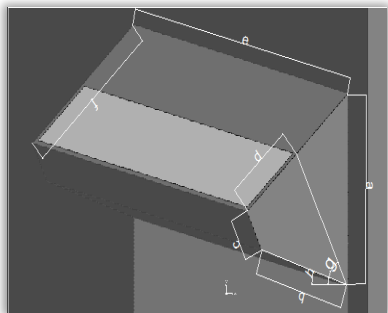


Figura B - 27 Dimensiones de guía de luz sombreada. [18]

El ángulo g el artículo de la IEA recomienda que sea de 60°, es decir que la tecnología este diseñada para que solo radiaciones hasta 60° puedan entrar directa-

mente al interior de la edificación, para radiaciones mayores de 60° son reflejadas hacia la parte superior del techo en el interior de la vivienda.

En la Figura B - 28 se muestra la ubicación de las guías de luz sombreada en la edificación.



Figura B - 28 Ubicación guía de luz sombreada [18]

Los materiales utilizados para la construcción de las guías de luz sombreada se muestran en la Tabla B - 15

Aluminio reflectante espesor (0,01m)	
Absorbancia térmica (emisividad)	0,001
Absorbancia solar	0,001
Absorbancia visible	0,001
Mortero espesor (0,01m)	
Absorbancia térmica (emisividad)	0,001
Absorbancia solar	0,006
Absorbancia visible	0,006
Acrilamiento sgl clr 3mm	
Número de capas	1
Panel 1	Generic clear (3mm) (vidrio genérico claro 3mm)
Transmisión solar total (SHGC)	0,861
Transmisión solar directa	0,837
Transmisión de luz	0,898

Tabla B - 15 Materiales utilizados construcción de las guías de luz sombreada [18]

En la Figura B - 29 se muestra la conformación de los muros exteriores y el techo de la tecnología.

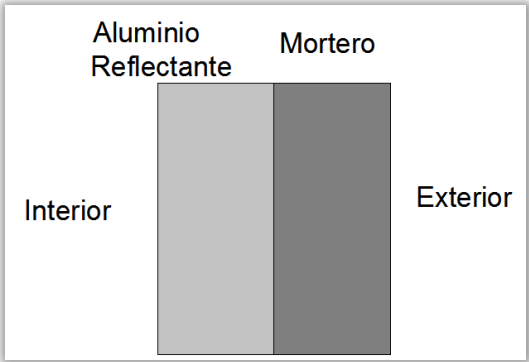


Figura B - 29 Conformación muros exteriores para guías de luz sombreada [18]

ANEXO C. VIVIENDA SELECCIONADA Y MODELADO VIRTUAL

El presente anexo presenta los planos arquitectónicos y ubicación de la vivienda tipo seleccionada, adicionalmente se presenta una breve descripción las principales características constructivas de la vivienda seleccionada.

C.1. consulta proyecto VIS

Para la selección del diseño de la vivienda se realiza la consulta en el Sistema Electrónico de Contratación Pública-SECOP, en donde se encuentran los archivos digitales de proyectos de vivienda, entre otros.

Para realizar la consulta se accede a la página web del SECOP, se selección, en la “pestaña producto o servicio” se selecciona: *componentes y suministros para estructuras, edificaciones, construcción y obras civiles*, en la pestaña la “Modalidad de contratación” se selecciona: *Licitación pública*”, en la pestaña “Departamento de ejecución” se selecciona: *Santander*, en la pestaña “fecha desde” se selecciona: *1/01/2013*, en la pestaña “Estado” de selecciona: *“adjudicado”*, y la pestaña “Municipio” se selecciona: *Bucaramanga*, la demás pestañas no se modifican, luego se usa la opción “Buscar”; se despliegan un cuadro donde aparecen los Proyectos bajo las características de búsqueda seleccionada anteriormente, como resultado de la revisión de esta información se halló el proyecto que cumple con nuestros requerimientos como el proyecto “PASEO LA FERIA IV ETAPA” [21].

C.2. Descripción constructiva de la vivienda

El proyecto “PASEO LA FERIA IV ESTAPA” posee tres diseños tipos de viviendas (ver especificaciones proyecto portal SECOP), para el caso particular de esta investigación se elige la vivienda tipo 5 (ver planos) ya que este diseño representa el

mayor porcentaje (64,96%) del total de viviendas en el proyecto, con costo directo por vivienda de este tipo de 23, 268,657 pesos[21].

La vivienda posee dos pisos con los siguientes espacios y características: sala comedor (barra americana), cocina, un (1) baño, lavadero (patio de ropas) escalera y espacio en el segundo piso dividido para dos habitaciones y un (1) baño (ver planos) en mampostería H-15 confinada a la vista, fachada en mampostería estructural con placa entrepiso aligerada en casetón con concreto impermeabilizado, tanque de abastecimiento de agua con su respectiva placa, acometidas y puntos de todos los servicios públicos.

La vivienda es en obra negra internamente (friso impermeabilizado únicamente en el baño) fachada terminada con acabados como Graniplast sobre friso impermeabilizado, carpintería metálica, vidrios y mampostería estructural a la vista.

Lo anterior de acuerdo al alcance establecido en las especificaciones técnicas constructivas y a las modelo de referencia (ver especificaciones proyecto porta SECOP). El área construida de 45.02 [m²] más el área privada libre de 6.14 [m²].

En la Figura C - 7 a Figura C - 13 se presentan los planos arquitectónicos para realizar la licitación convocada para la asignación del proyecto en la página SECOP [21].

C.3. Modelado virtual vivienda tipo

Para lograr exactitud en los resultados energéticos obtenidos a través del software DesignBuilder, se hace necesario detallar cada zona de la casa con los materiales reales que fue construida dicha vivienda, a continuación se presenta el proceso en el cual se modificó la estructura representativa de la casa, adaptándola con las características reales de construcción e iluminación natural [7], [21],[23].

Como parte de la validación del modelo virtual de realizado en el software “DesignBuilder”, se procedió desplazarse el día 19 de diciembre del dos mil catorce al sitio de construcción de la vivienda para tomar mediciones de iluminación interior y exterior de la vivienda que por restricciones de la constructora solo se permitió ingresar al sitio para esa fecha para la toma de mediciones los datos fueron tomados para cada hora a partir de las 9 am (hora que se autorizó el ingreso) hasta las 5 pm.

Dado que el software para los cálculos de iluminación natural con la herramienta “Daylight” realiza cálculos de iluminación natural bajo una plantillas de iluminación establecida por la “Comisión internacional l’Eclairage-CIE” las cuales no puede ser modificas, se procedió a comparar las curvas de iluminación exterior obtenidas de mediciones realizadas para la fecha mencionada y comparar las curvas para misma fecha generadas por el programa para cada condición de cielo [36], [46].

La Figura C - 1 presenta los diferentes tipos de curva para esta fecha.

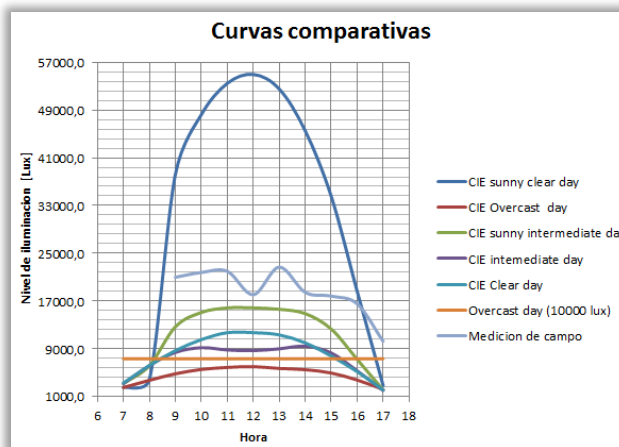


Figura C - 1 Curvas comparativas para el 19 de diciembre

En la Figura C - 1 se observa que ningún tipo de condición de cielo arrojado por el programa se asemeja a la curva de medición exterior del sitio, esto se debe a que

la iluminación natural depende de variables climáticas que no pueden ser controladas, por ejemplo nubosidad, densidad de las nubes, que continuamente están cambiando[36], [46], por tal motivo la validación del modelo por su comportamiento de iluminación natural no es posible debido a la gran cantidad de variables no controladas.

De modo tal que la validación posible fue el modelo geométrico y el cual para su elaboración se basó en los planos de la construcción y características especificadas de materiales. Por otra parte se ha seguido el mismo procedimiento constructivo utilizado para la creación de modelados en anteriores trabajos grado los cuales han tenido un buen desempeño.

A continuación se presenta el procedimiento de modelado.

Composición de los muros exteriores

En la pestaña de construcción es posible definir o incluir datos técnicos de los materiales con los cuales están compuestos los muros exteriores de la vivienda de interés social tipo seleccionada [7], [23].

Los muros exteriores de la edificación están constituidos por únicamente por ladrillo tipo H 15 recubierto por 2 capas de mortero de 2,5 cm de espesor. En la Tabla C - 1 se presentan las características del muro [3]

Material	Espesor por capa [m]	Espesor total [m]
Aplanado de cemento y arena	0.015	0.23
Muro de ladrillo	0.2	

Tabla C - 1 Espesor muros exteriores

La Figura C - 2 representa la configuración de un muro exterior en el proyecto de vivienda seleccionada del proyecto “LA FERIA IV ETAPA”, esta configuración es la que constituye los muros de todas las viviendas [21], [23].



Figura C - 2 Constitución muro exterior vivienda [18]

El tipo de material para los muros exteriores escogidos en DesignBuilder, es un muro en ladrillo a continuación se presenta en la Tabla C - 2 con la información técnica de este ladrillo así como la composición de arena y cemento [21]

Muros exteriores	Aplanado de cemento y arena	Cement/plaster/mortar - cement
	Muro de ladrillo	Brick

Tabla C - 2 Materiales seleccionado en DesignBuilder para los muros exteriores [18]

Muros internos

Los muros internos de la edificación constituyen las zonas establecidas por el software *DesingBuilder* dentro de un bloque que ya ha sido creado, esto con la finalidad de realizar un estudio del comportamiento lumínico-térmico de la vivienda [23], [46].

Para realizar un estudio más detallado energéticamente es necesario establecer las propiedades técnicas de los materiales que componen las divisiones internas de la edificación. Los muros internos de la vivienda están compuestos por únicamente por ladrillos H15 y recubiertos por 2 capas de mortero con un espesor de 2.5 [Cm], cabe resaltar que la altura de los muros internos es la misma que los muros exteriores[21]. En la Tabla C - 3 se presenta la composición de los muros internos.

Material	Espesor por capa [m]	Espesor total [m]
Aplanado de cemento y arena	0.015	0.18
Muro de ladrillo	0.15	

Tabla C - 3 Composición muros internos [18]

La Figura C - 3 representa la configuración de una división interna en el proyecto de vivienda de interés social denominado “LA FERIA IV ETAPA”, esta configuración es la que constituye los muros de la vivienda tipo seleccionada [21], [23], [46].

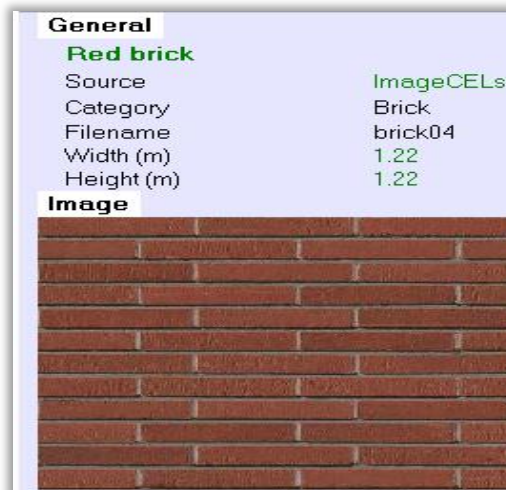


Figura C - 3 Constitución muros internos [18]

A continuación se presenta la Tabla C - 4 con la información técnica de este ladrillo así como la composición de arena y cemento [20].

Divisiones internas	Aplanado de cemento y arena	Cement/plaster/mortar - cement
	Muro de ladrillo	Brick

Tabla C - 4 Materiales seleccionado en DesignBuilder para muros internos [18]

Piso de la vivienda

Los pisos de la edificación están compuestos por diferentes materiales, ya que la planta física de la vivienda está compuesta por dos niveles, cada nivel contiene propiedades diferentes cuando se hace referencia del piso [23], [46].

El suelo del primer piso está compuesto de concreto armado (2500 PSI) de espesor 0.05 m [21]. En la Tabla C - 5 se presentan dichas características.

Material	Espesor [m]
Placa de concreto armado, en contacto con el terreno.	0.05

Tabla C - 5 Composición piso de la primera planta [18]

En la Figura C - 4 se presenta el piso de la primera planta, generado en el software y en Tabla C - 6 se presenta el material utilizado en programa [4].

Suelo 1	Concreto endurecido	Cast/ concrete
----------------	---------------------	----------------

Tabla C - 6 Material seleccionado en DesignBuilder para el piso primera planta [18]



Figura C - 4 Material seleccionado para el piso primero planta [18]

La placa entre pisos, se encuentra conformada por concreto aligerado y bloque de escombros incluyendo un espacio de aire, el espesor de la placa es aproximadamente 20 [cm], en los cuales se combinan estas 3 características [5], [3]. La Tabla C - 7 presenta los materiales con los cuales está compuesta la placa que sirve como suelo en el segundo piso y la Figura C - 5 se presenta en modelo generado en el software [4].

Material	Espesor [m]	Espeso Total [m]
Capa concreto	0.05	0.05
Capa de aire	0.05	0.05
Bloque de escombros	0.10	0.20

Tabla C - 7 Materiales placa entre piso segunda planta [18]

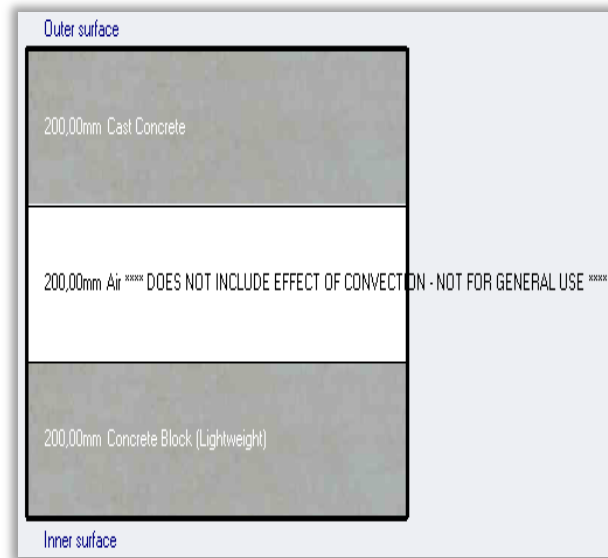


Figura C - 5 Configuración placa entre piso segunda planta

En la Tabla C - 8 se presentan los materiales utilizado en DeisgnBuilden para generar el modelo de la placa.

Placa segunda planta	Concreto aligerado	Cast concrete /lightweight
	Espacio de aire	Air for general use
	Bloque de escombros	Concrete block/ lightweight

Tabla C - 8 Composición entre piso segunda planta

Componentes del techo

La placa de la vivienda construida en la urbanización denominada “La Feria IV etapa”, está constituida por concreto aligerado y bloque de escombros, el cual confiere un espacio de aire, esta característica hueca permite rebajar el peso y aumentar el espesor dándole más rigidez a la estructura, además contiene una pequeña capa de cemento impermeabilizado [21].

La cubierta tiene un espesor de 20 [cm] [21], a continuación se presenta una tabla con los materiales que conforman esta placa la cual será implementada en De-

signBuilder [18]. La Tabla C - 9 presenta de manera resumida las características de placa.

Material	Espesor [m]	Espesor Total [m]
Cemento impermeabilizado	0.02	0.02
Capa de concreto	0.04	0.04
Capa de aire	0.04	0.04
Bloque de escombros	0.10	0.10

Tabla C - 9 Materiales que componen la placa-techo [18]

La Figura C - 6 representa los componentes de los cuales está conformada la placa del segundo piso que sirve como techo de la edificación y la Tabla C - 10 se presentan los materiales usados para crear la placa-techo.

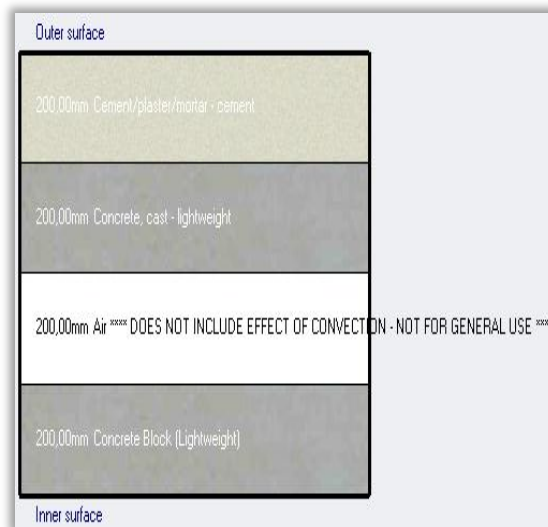


Figura C - 6 Composición placa techo [18]

Placa 2	Cemento impermeabilizado	Cement/plaster/mortar
	Concreto aligerado	Cast concrete /lightweight
	Espacio de aire	Air for general use
	Bloque de escombros	Concrete block/ lightweight

Tabla C - 10 Componentes placa-techo [18]

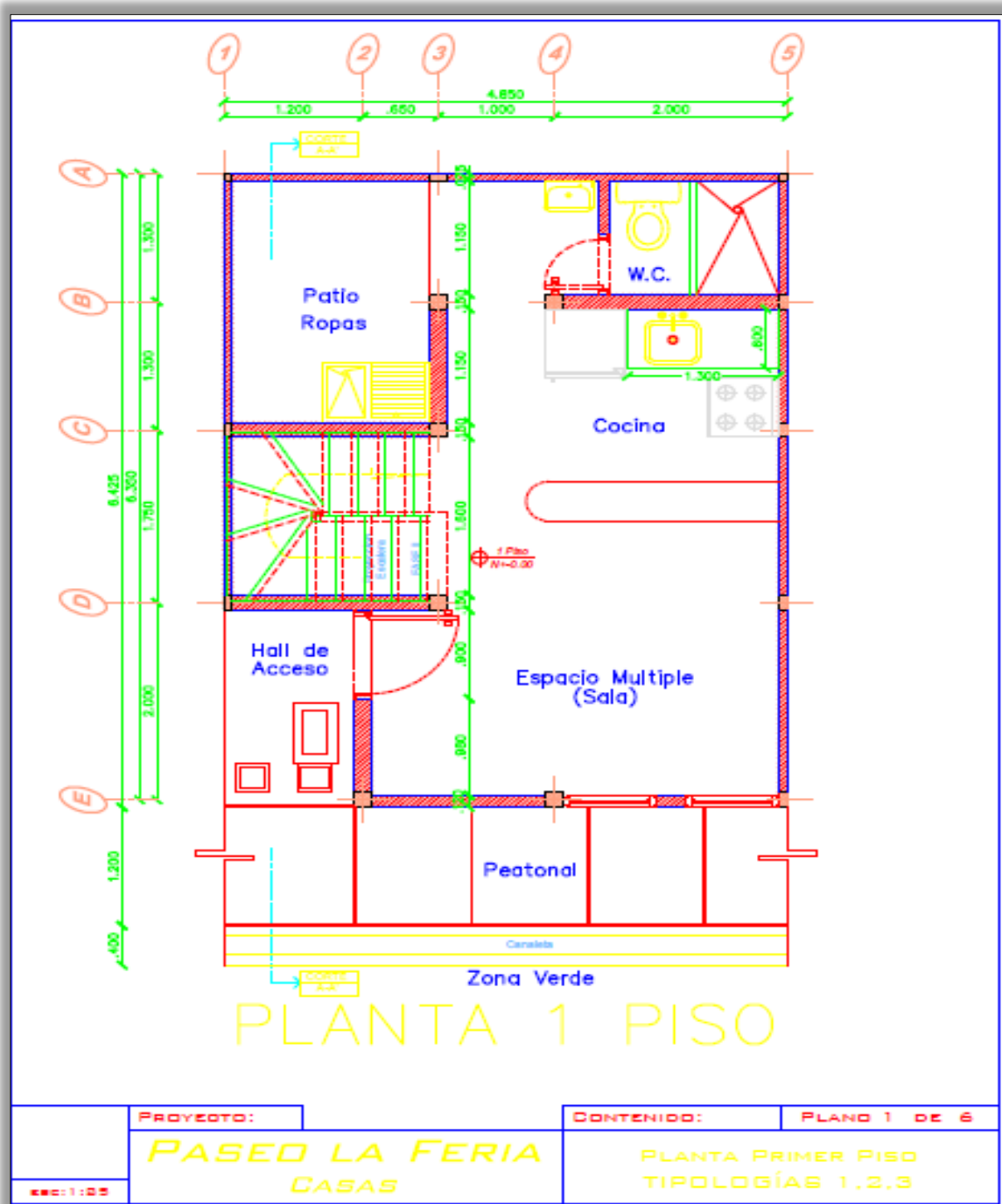


Figura C - 7 Plano primera planta: vivienda tipo seleccionada [20]

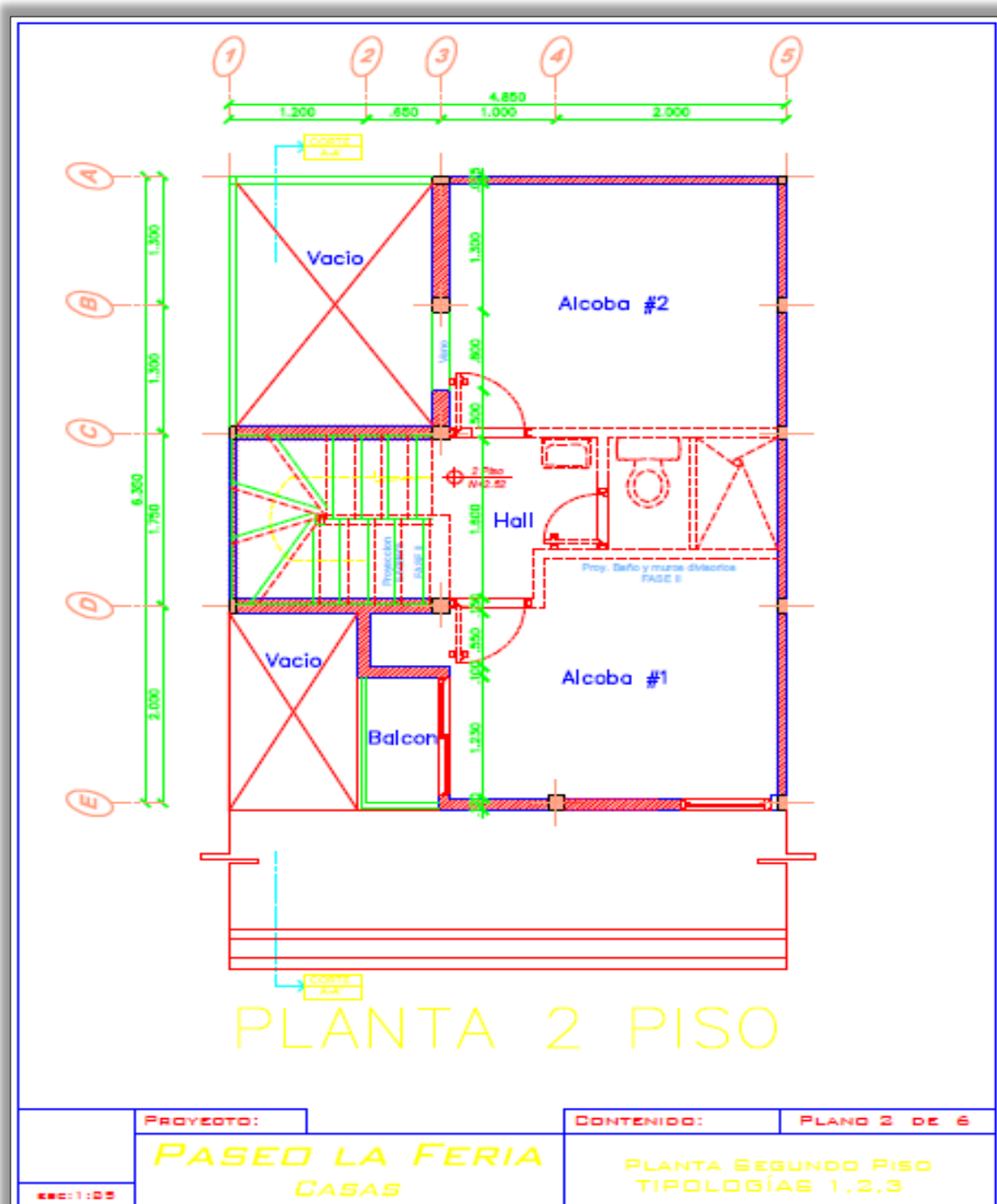


Figura C - 8 Plano segunda planta: vivienda tipo seleccionada [20]

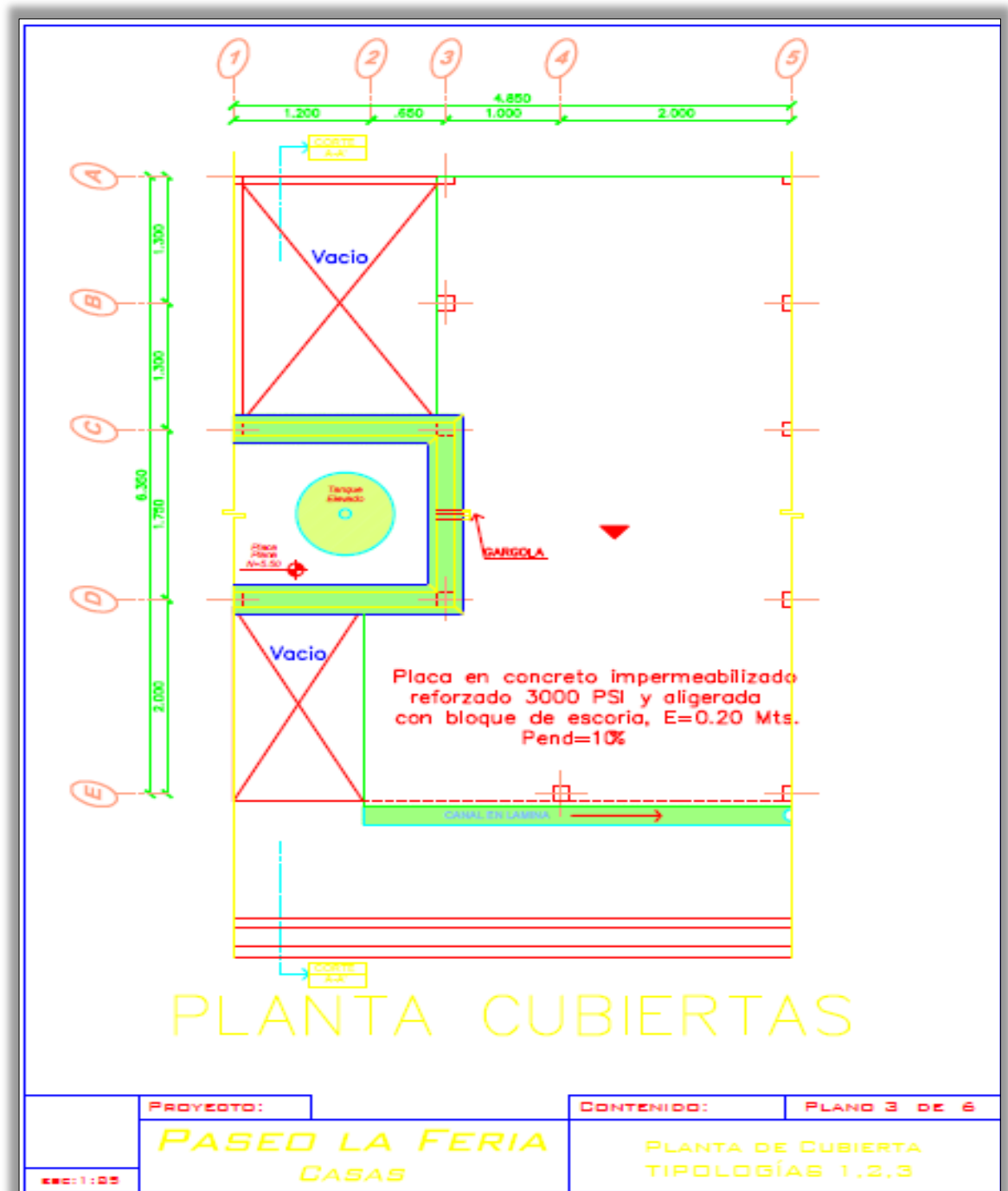


Figura C - 9 Plano cubiertas: vivienda tipo seleccionada [20]

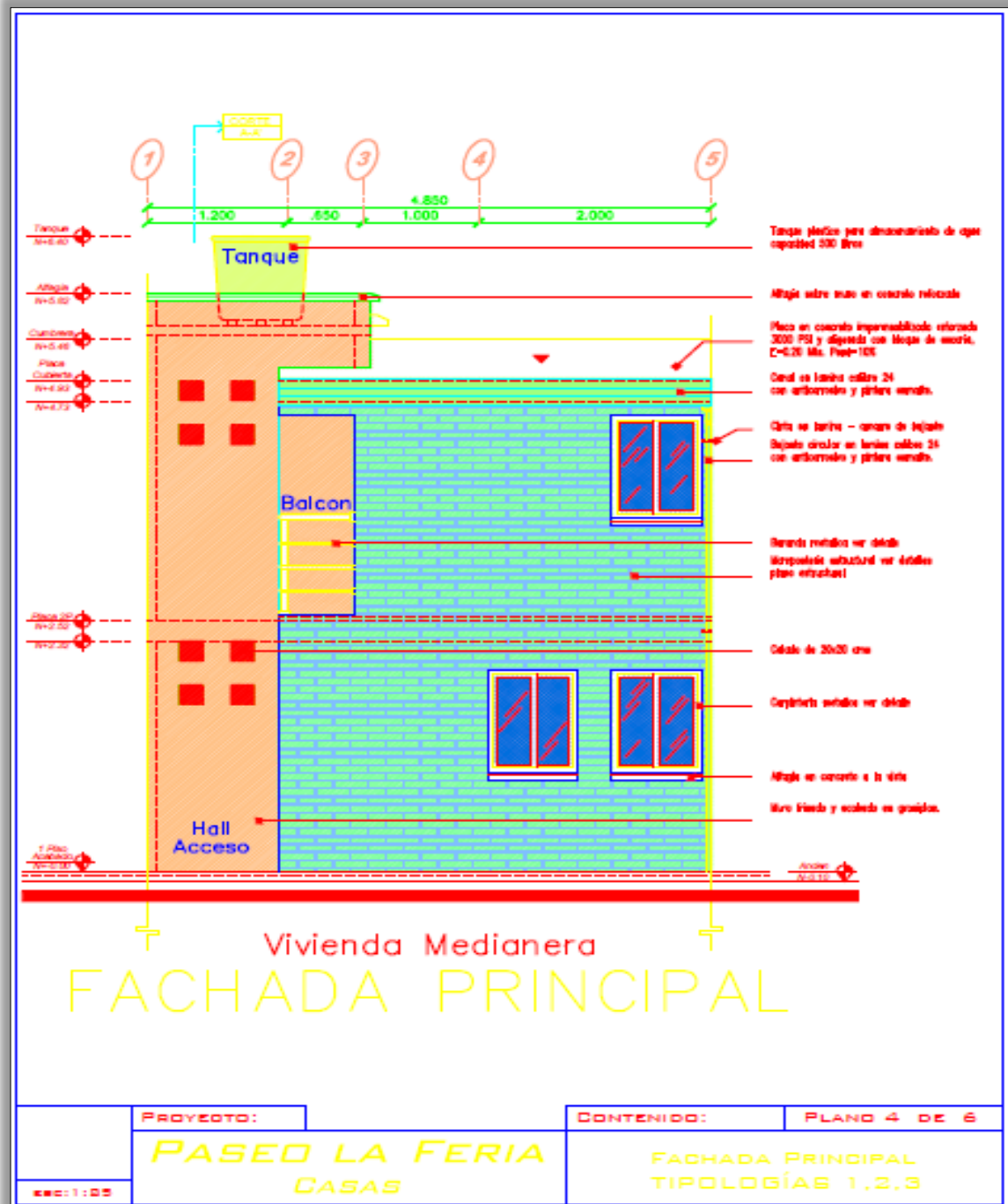


Figura C - 10 Fachada principal: vivienda tipo seleccionada [20]

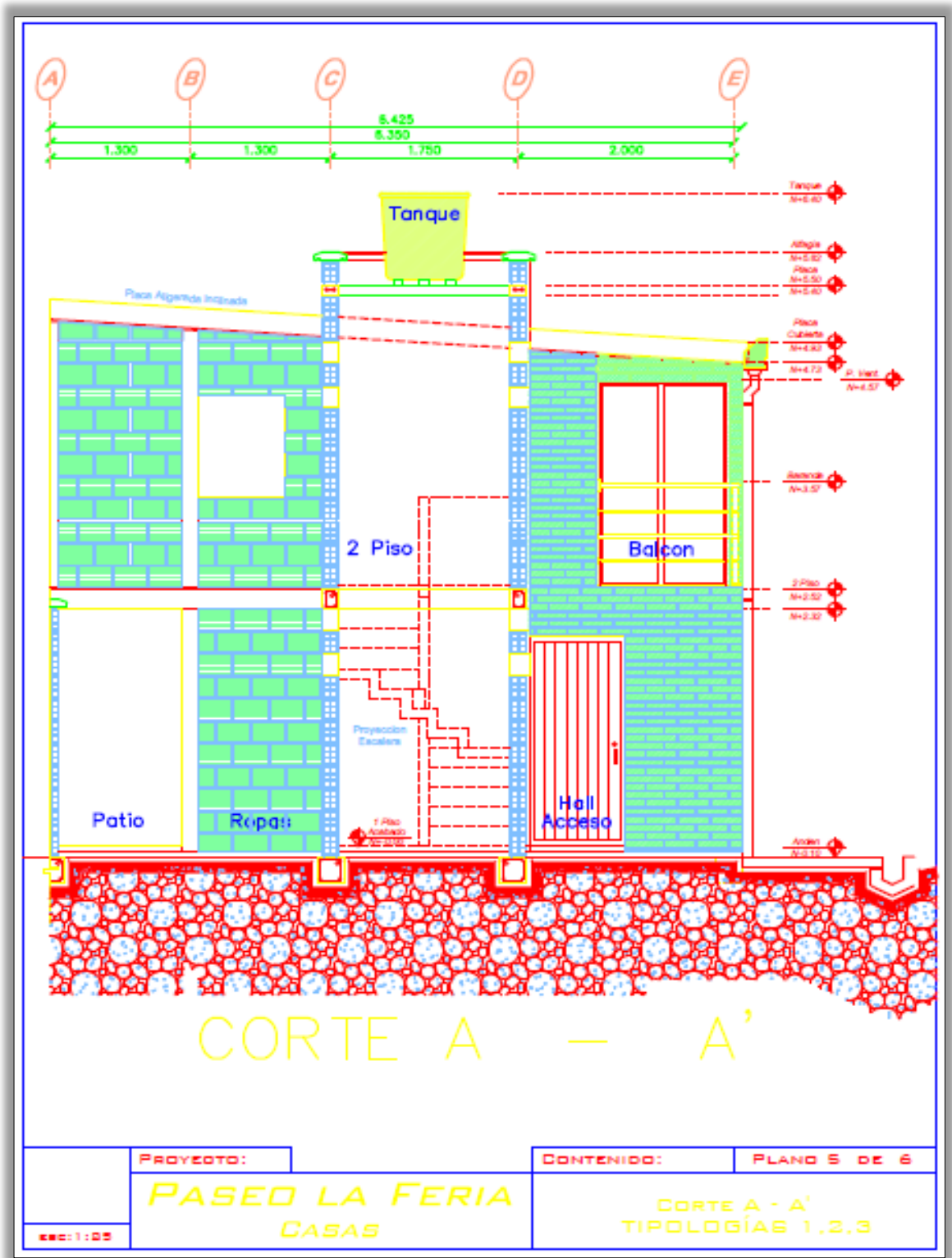


Figura C - 11 Corte A-A': vivienda tipo seleccionada [20]

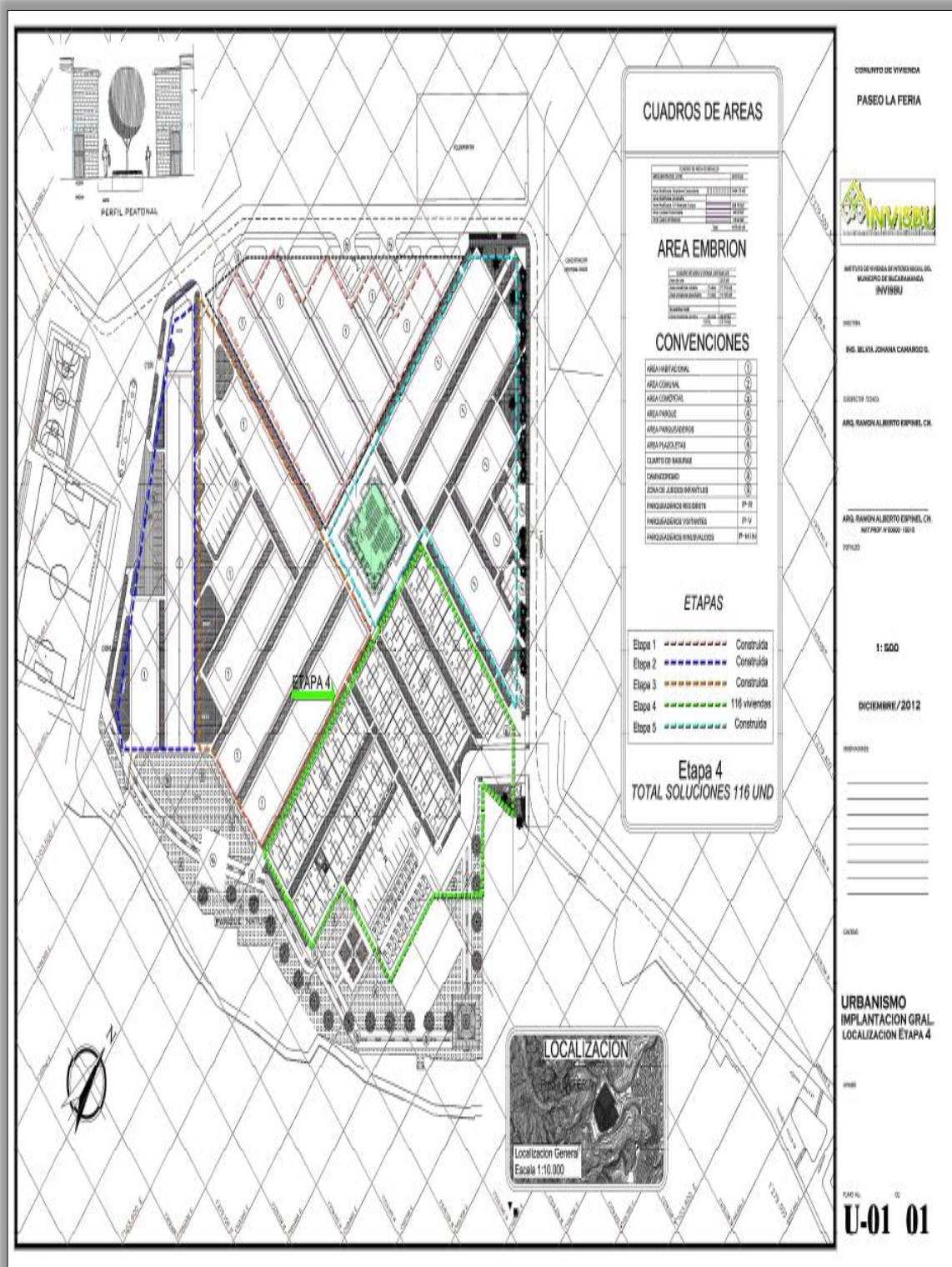


Figura C - 12 Plano ubicación proyecto: vivienda tipo seleccionada [20]

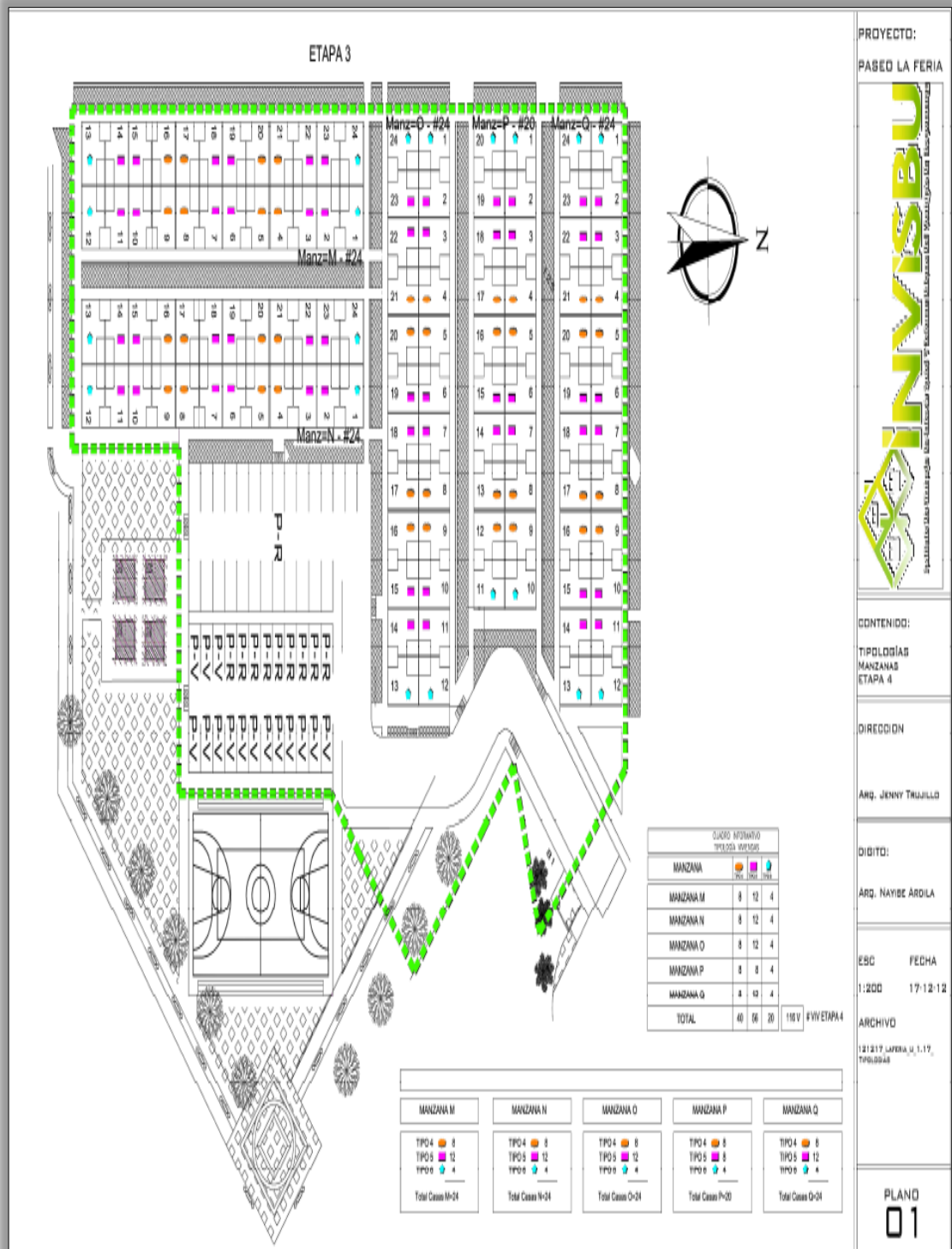


Figura C - 13 Plano tipologías manzanas etapa 4: vivienda tipo seleccionada[20]

ANEXO D RESULTADOS SIMULACIONES ENERGÉTICAS

Dentro de este anexo se presentan los resultados obtenidos del programa a insertar el archivo de datos climáticos de la ciudad de Bucaramanga para cada tecnología implementada en la vivienda.

D.1. Curvas ocupación

Para establecer la curvas de ocupación probables al interior de la vivienda, se considera que el núcleo familiar de esta compuesto de 4 personas dos padres y dos hijos en etapa escolar (10-14 años), el padre jefe cabeza de hogar posee un horario de trabajo[47], de 8: 00 am a 12:00 pm, y de 2:00 pm a 6:00 pm con espacio para el almuerzo de 12:00 pm a 2:00 pm, los niños se poseen un horario de estudio de 6:30 am a 12:00 pm.

Dado que se desea evaluar el consumo por iluminación de la vivienda, se consideran las siguientes condiciones de ocupación por espacio y necesidad de poseer un nivel de iluminación adecuado a las actividades más probables de desarrollo dentro un horario posible acorde al escenario anteriormente expuesto. En las Figura D - 1 y Figura D - 2 se presenta la ocupación por zona con requerimiento de iluminación adecuados.

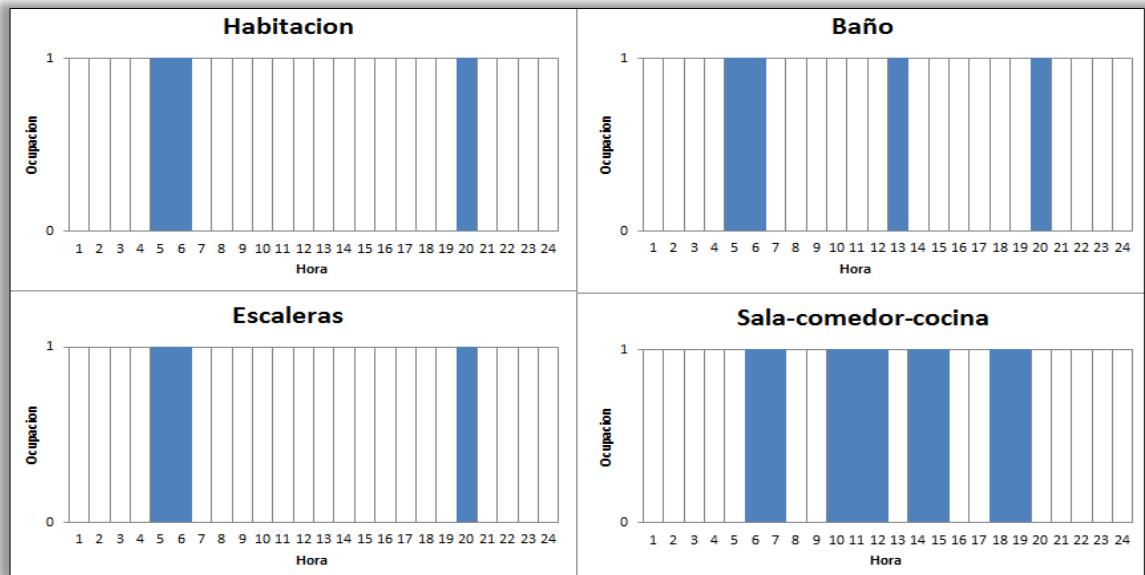


Figura D - 1 Curvas de ocupación por zonas para los días de la semana

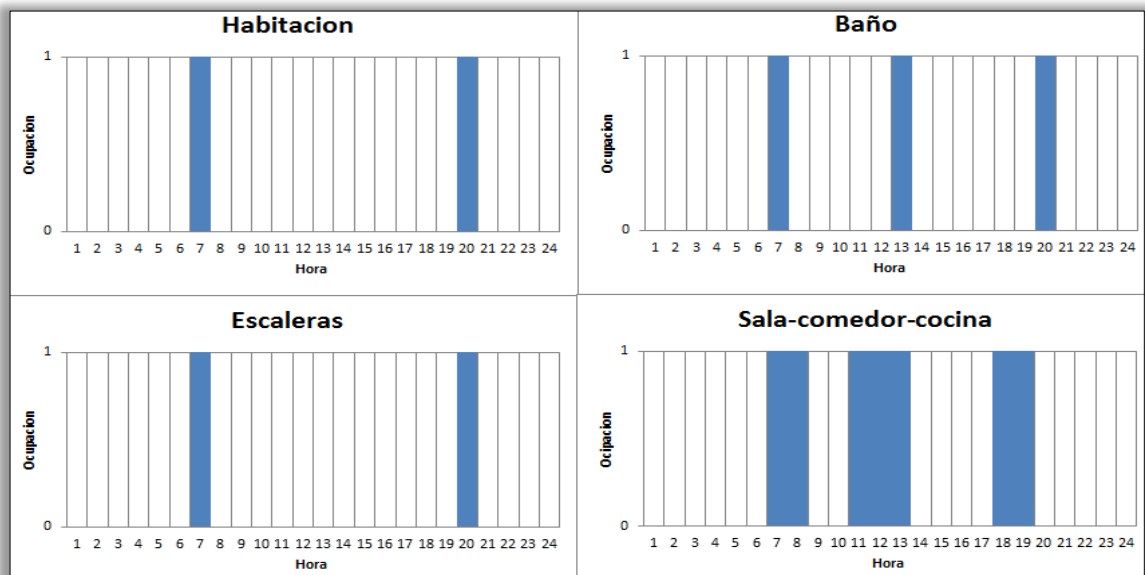


Figura D - 2 Horario de ocupación para los fines de semana y días festivos

D.2. Caso de estudio

En la Figura D - 3 se presentan los resultados del caso base, los cuales son utilizados como referencia de comparación para apreciar los cambios en los consumos de energía eléctrica debido a la implementación de las tecnologías.

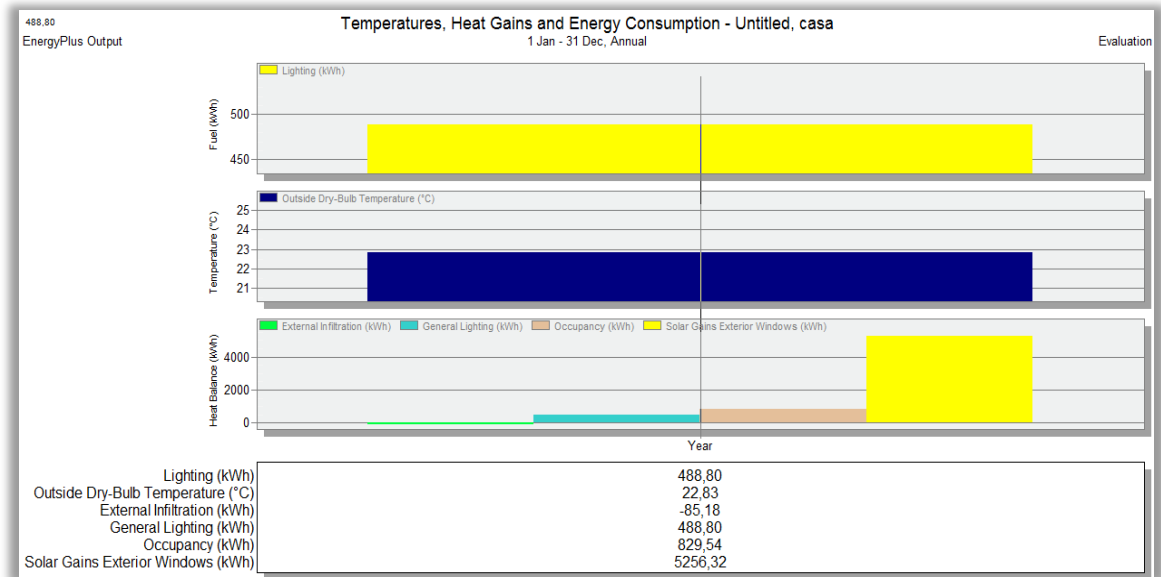


Figura D - 3 Caso base

Se observa que utilizando las curvas de ocupación por zona presentadas anteriormente para el caso base, es decir la vivienda si aplicar ningún tipo de tecnología presenta un consumo de energía eléctrica por iluminación muy cercana a los valores de consumo por iluminación para los estratos socio económicos 1 y 2 que corresponderían a estratos hacia los cuales están orientados los proyectos de viviendas de interés social en Colombia [6].

De acuerdo a un estudio hecho por la UPME, [27]y la Universidad nacional en el año 2006 [2], en este estudio se encuentra que para una vivienda ocupada por 4 personas el consumo anual por de energía eléctrica está alrededor de 1440 [kWh/año] hasta 1920 [kWh/año] y de acuerdo a la investigación realizada se estima que el consumo por iluminación en un edificación es del 30% [1], los que supondrían que el rango dentro del cual está el consumo para vivienda tipo seleccionada es de 432 [kWh/año] a 576 [kWh/año], lo que supone que la aproximación es adecuada, ya que el consumo de energía eléctrica obtenido bajo estas condiciones es de 488 [kWh/año].

Estantes de luz

En la Figura D - 4 se presentan los resultados cuando es implementada en la vivienda los estantes de luz, se observa un incremento en el consumo de energía debida a iluminación, y una reducción en las ganancias solares a través de las ventanas en relación al caso base.

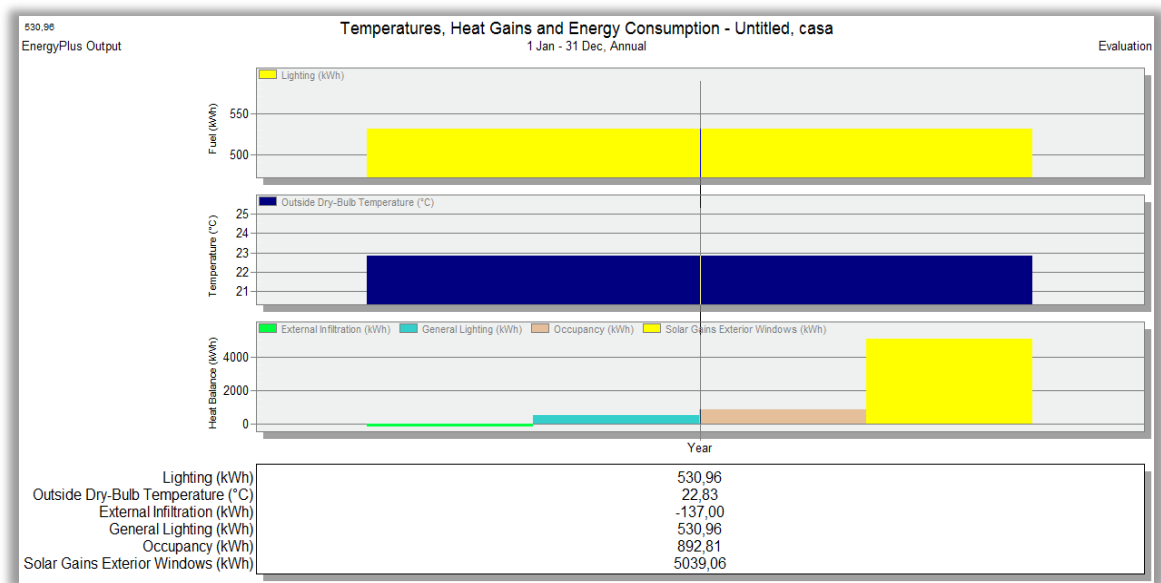


Figura D - 4 Estantes de luz

Paneles cortados a laser

En la Figura D - 5 se presentan los resultados cuando es implementada en la vivienda los paneles cortados a laser, se observa una reducción en el consumo de energía debida a iluminación, y un incremento en las ganancias solares a través de las ventanas en relación al caso base.

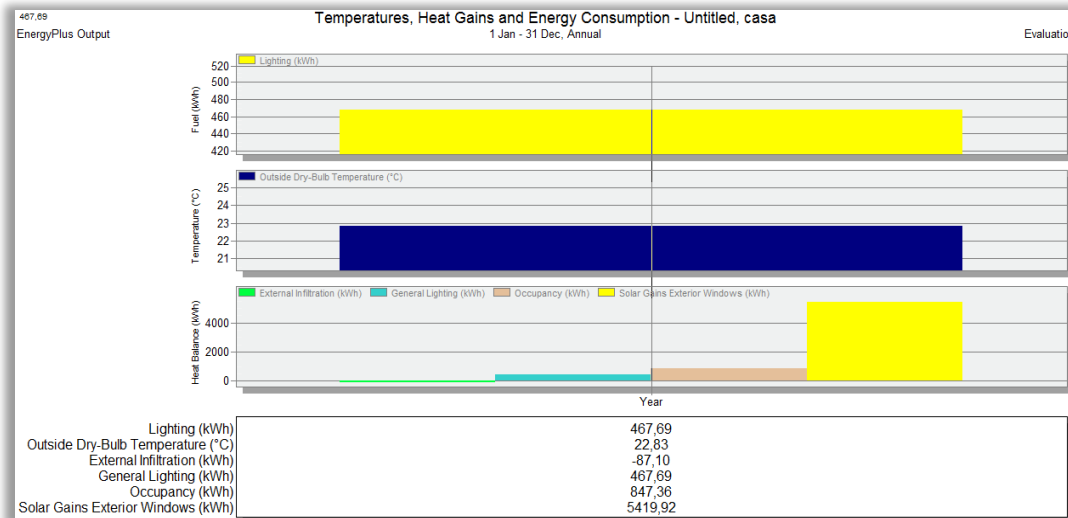


Figura D - 5 Paneles cortados a laser

Guía de luz sombreada

En la Figura D - 6 se presentan los resultados cuando es implementada en la vivienda la Guía de luz sombreada, se observa un incremento en el consumo de energía debida a iluminación, y un incremento en las ganancias solares a través de las ventanas en relación al caso base..

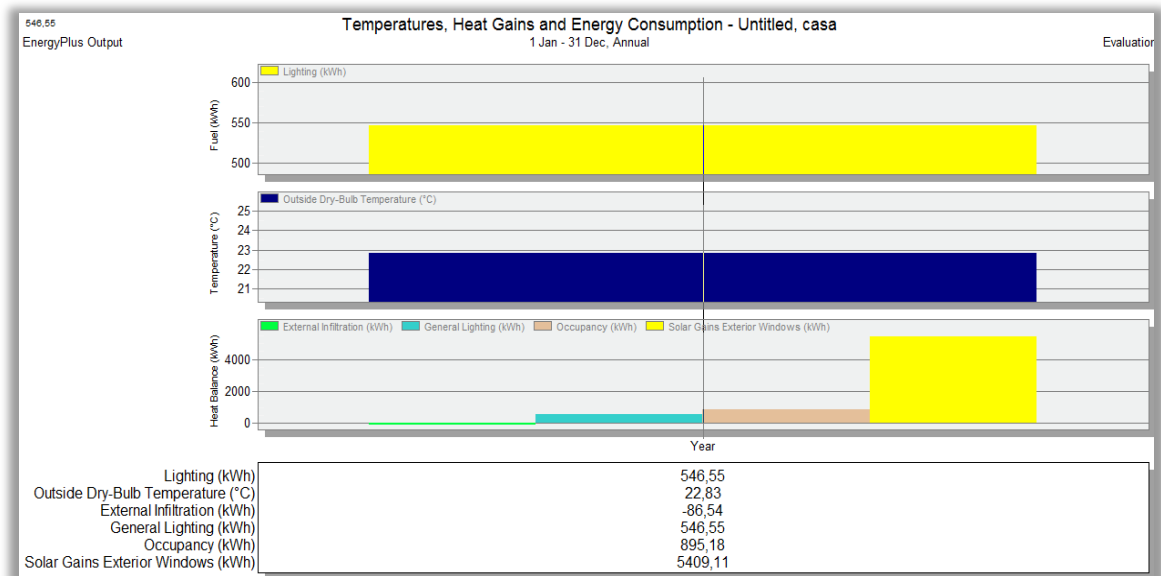


Figura D - 6 Guías de luz sombreada

Aberturas anidolicas cenitales

En la Figura D - 7 se presentan los resultados cuando es implementada en la vivienda las aberturas anidolicas cenitales, se observa una reducción en el consumo de energía debida a iluminación, y un incremento en las ganancias solares a través de las ventanas en relación al caso base.

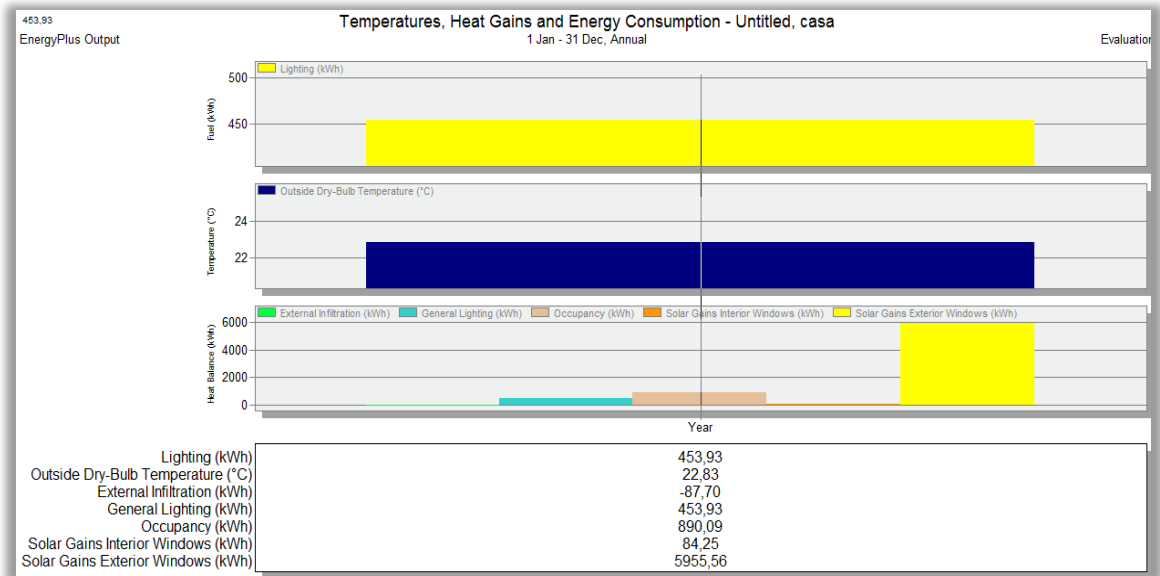


Figura D - 7 Aberturas anidolicas cenitales

Tragaluz angular selectivo

En la Figura D - 8 se presentan los resultados cuando es implementada en la vivienda el tragaluz angular selectivo, se observa una reducción en el consumo de energía debida a iluminación, y un incremento en las ganancias solares a través de las ventanas en relación al caso base.

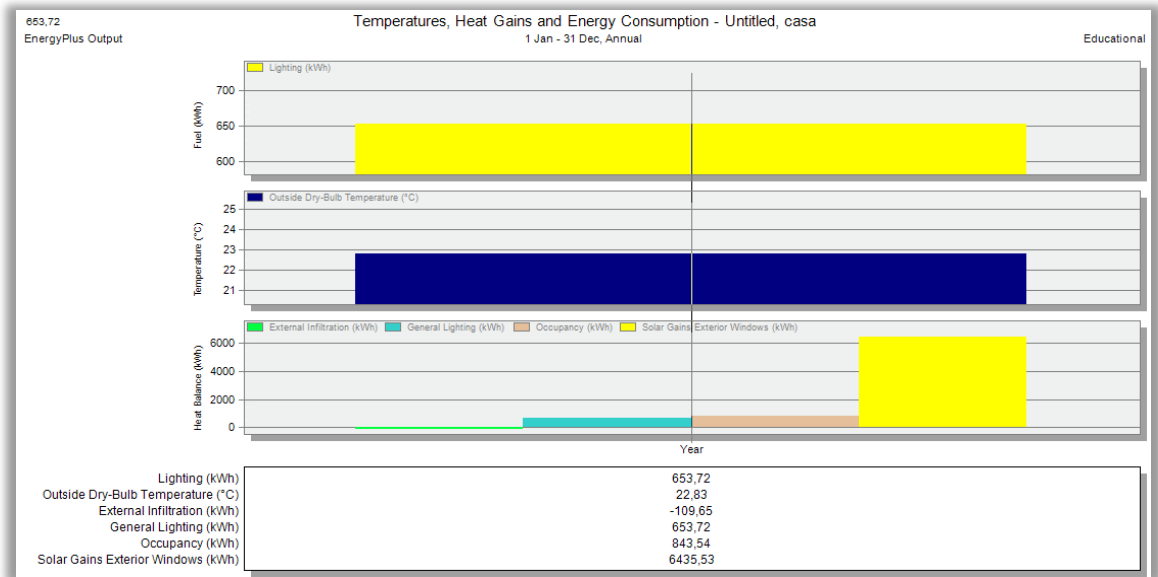


Figura D - 8 Tragaluz angular selectivo [4]

Ducto solar

En la Figura D - 9 se presentan los resultados cuando es implementada en la vivienda los ductos solares, se observa una reducción en el consumo de energía debida a iluminación, y un incremento en las ganancias solares a través de las ventanas en relación al caso base.

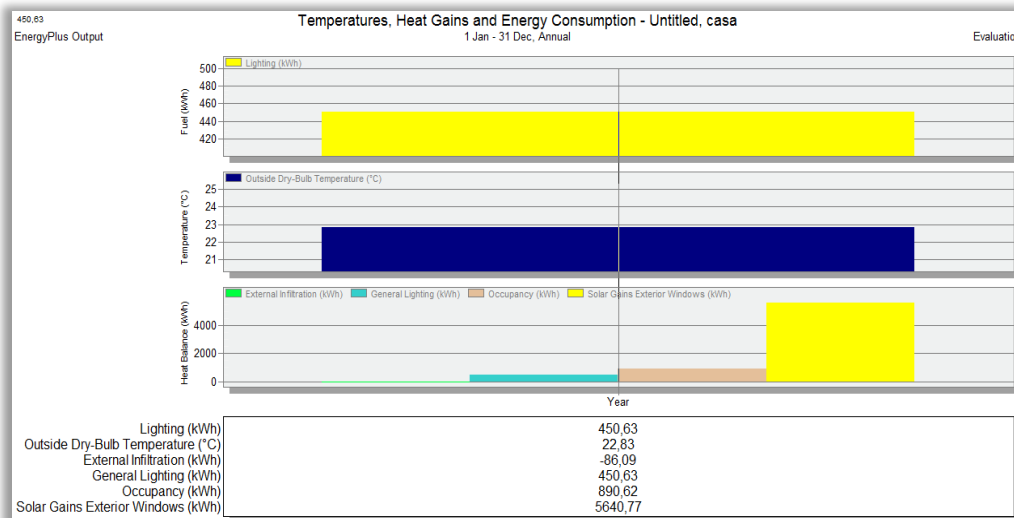


Figura D - 9 Ducto solar

Claraboyas

En la Figura D - 10 se presentan los resultados cuando es implementada en la vivienda las claraboyas, se observa una reducción en el consumo de energía debida a iluminación, y un incremento en las ganancias solares a través de las ventanas en relación al caso base.

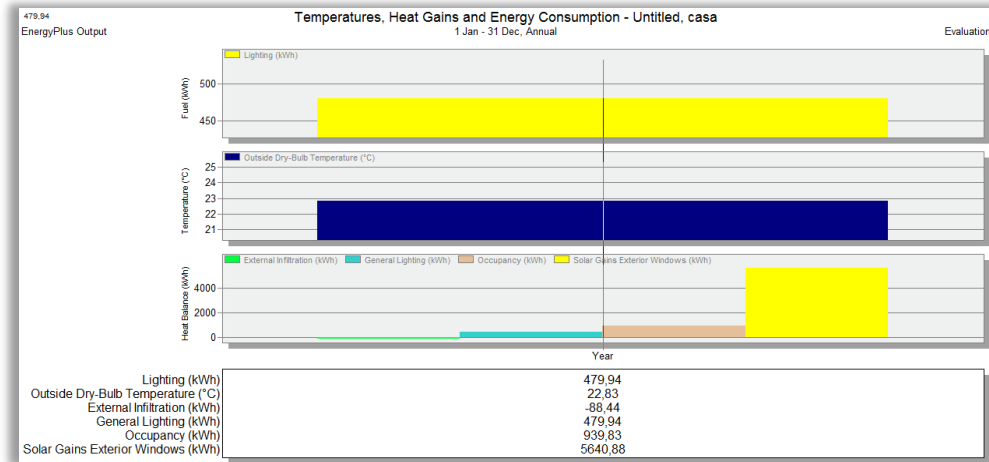


Figura D - 10 Claraboyas Circulares

Persianas

En la Figura D - 11 se presentan los resultados cuando es implementada en la vivienda las persianas, se observa un incremento en el consumo de energía debida a iluminación, y un incremento en las ganancias solares a través de las ventanas en relación al caso base.

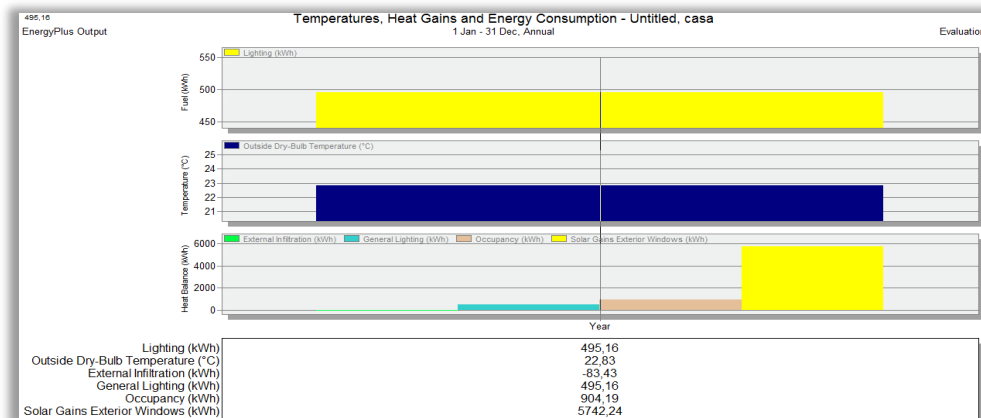


Figura D - 11 Persianas

La Tabla D - 1 presenta un resumen de los resultados obtenidos y permite una comparación entre los diferentes parámetros para cada tecnología.

PARÁMETRO	A	B	C	D	E	F	G	H	I
S									
Iluminación (kWh)	488,8	530,9	467,6	479,9	653,9	455,19	450,6	479,9	495,1
Temperatura exterior de bulbo seco (°C)	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,83	22,8	22,8	22,8
Infiltración externa (kWh)	-85,1	-137	-87,1	-88,4	-87,7	-106,79	-86,0	-88,4	-83,4
Iluminación general (kWh)	488,8	530,9	467,6	479,9	453,9	455,19	450,6	479,9	495,1
Ocupación (kWh)	829,5	892,8	847,3	939,8	890,0	914,53	890,6	939,8	904,1
Ganancia solar por ventanas (kWh)	5256,3	5039,0	5419,9	5640,8	5955,5	6423,5	5640,7	5640,8	5742,2

Nota: **A:** Sin tecnologías, **B:** Estantes de luz, **C:** Panel cortado a laser, **D:** Guías de luz sombreada, **E:** Aberturas anidolicas cenitales, **F:** Tragaluz angular selectivo, **G:** Ducto solar, **H:** Claraboyas, **I:** Persianas

Tabla D - 1 Resumen resultados simulación [18]

D.3. Validación aporte tecnologías por el software “DesignBuilder”

Para evidenciar los aportes de las tecnologías de iluminación modeladas en el software “DesignBuilder”, se eligió el escenario estandarizados por la CIE presentando por el programa “sunny intemediate day” (día soleado intermedio), el cual será utilizado para todas la tecnologías a fin de tener el mismo valor de referencia de tipo de cielo, para cada tecnología se evaluó una fecha en la cual es evidente observar en los mapas de iluminación presentados por el programa.

Aberturas anidolicas cenitales

Para evidenciar el aporte hecho por la tecnología, se presenta la tecnología ubicada en la alcoba uno de la vivienda tipo eliminando la ventana de manera que se

observa el aporte de iluminación hecho solo por la tecnología. La fecha evaluada es el 21 de junio.

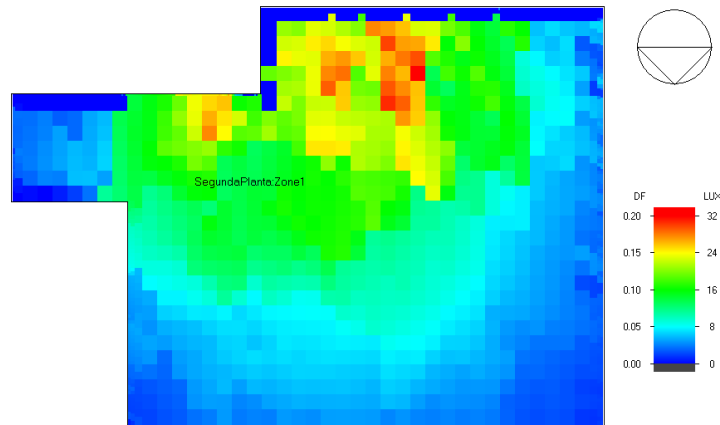


Figura D - 12 Aporte iluminación abertura anidolica cenital 8 a.m

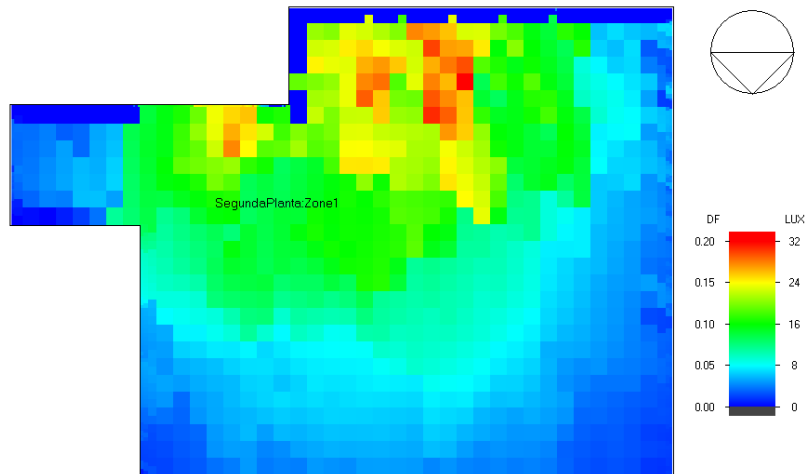


Figura D - 13 Aporte iluminación abertura anidolica cenital 12 p.m

En las Figura D - 12 y Figura D - 13 se observa que la tecnología efectivamente realiza un aporte de iluminación en la zona ubicada.

A continuación se presenta los resultados del mapa de iluminación obtenido por el software para un nivel de escala máxima de 500 luxes, agregando a la zona eva-

luada la ventana que posee en el diseño original de la vivienda tipo seleccionada junto a la tecnología y luego la zona sin tecnología y con solo ventana.

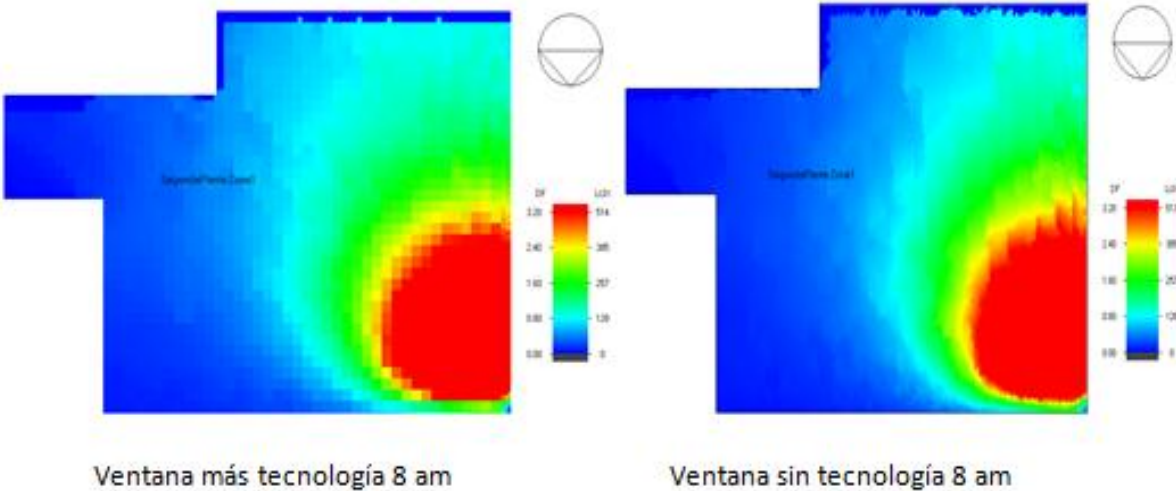


Figura D - 14 Comparación distribución de la iluminación por aporte de la tecnología para las 8 a.m con escala máxima 500 luxes

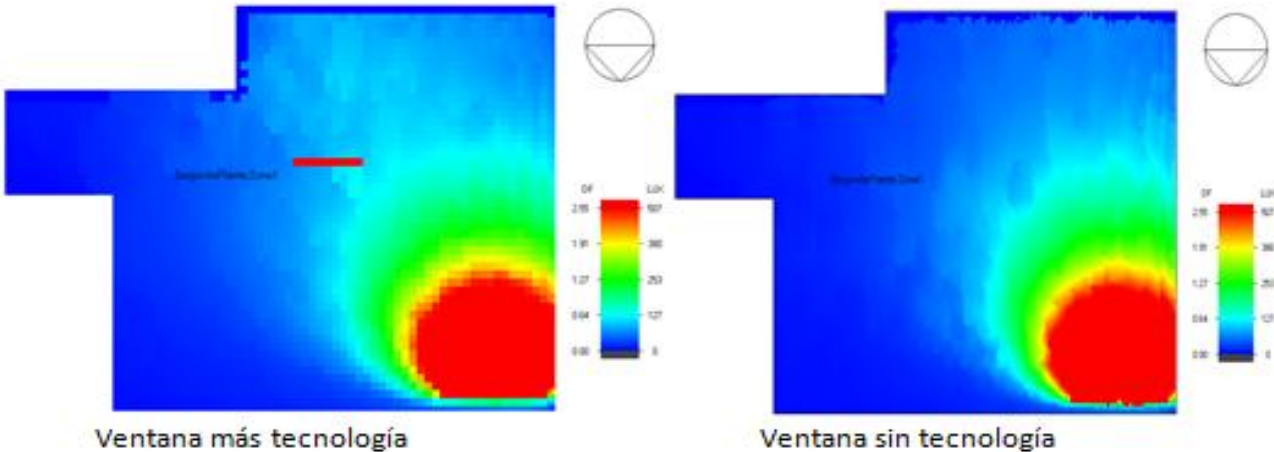


Figura D - 15 Comparación distribución de la iluminación por aporte de la tecnología para las 12 p.m, con escala máxima 500 luxes

En la Figura D - 14 y Figura D - 15 se observa un leve aporte en la distribución de iluminación por parte de la tecnología de iluminación natural en la habitación.

Claraboya Circular

Para evidenciar el aporte hecho por la tecnología se presenta la tecnología ubicada en la alcoba uno de la vivienda tipo eliminando la ventana de manera que se observa el aporte de iluminación hecho solo por la tecnología. La fecha evaluada es el 22 de marzo.

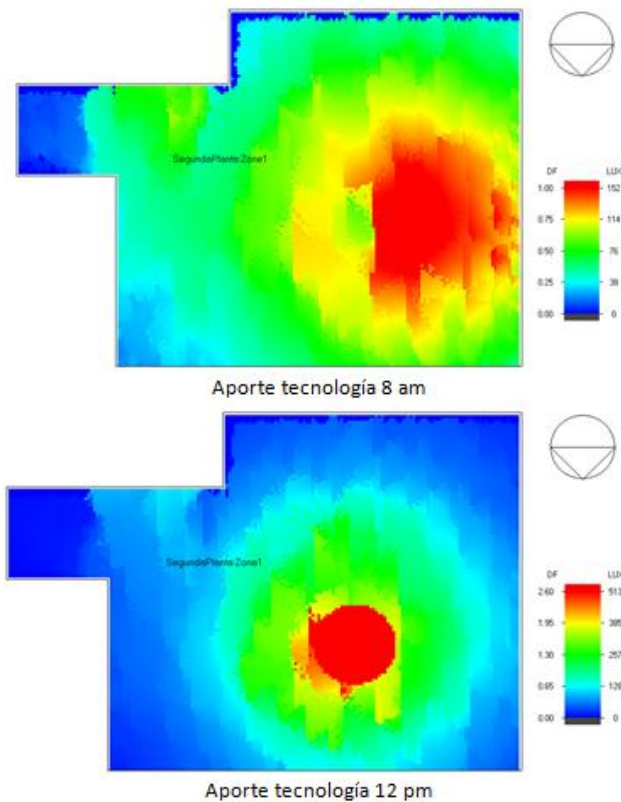


Figura D - 16 Aporte iluminación claraboya circular

En la Figura D - 16 se observa que la tecnología efectivamente realiza un aporte de iluminación en la zona ubicada.

A continuación se presenta los resultados del mapa de iluminación obtenido por el software, agregando a la zona evaluada la ventana que posee en el diseño original de la vivienda tipo seleccionada junto a la tecnología y luego la zona sin tecnología y con solo ventana para un escala máxima de 1000 luxes y 500 luxes de iluminación.

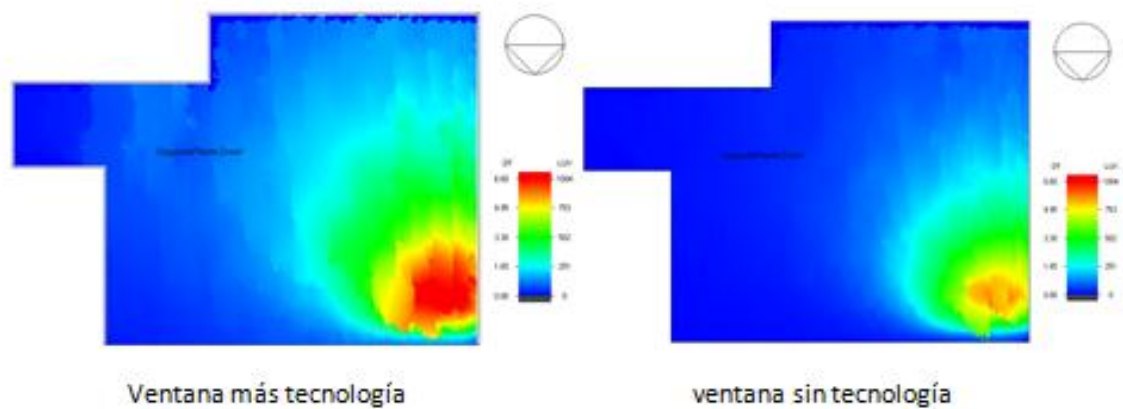


Figura D - 17 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 8 am, con escala máxima 1000 luxes

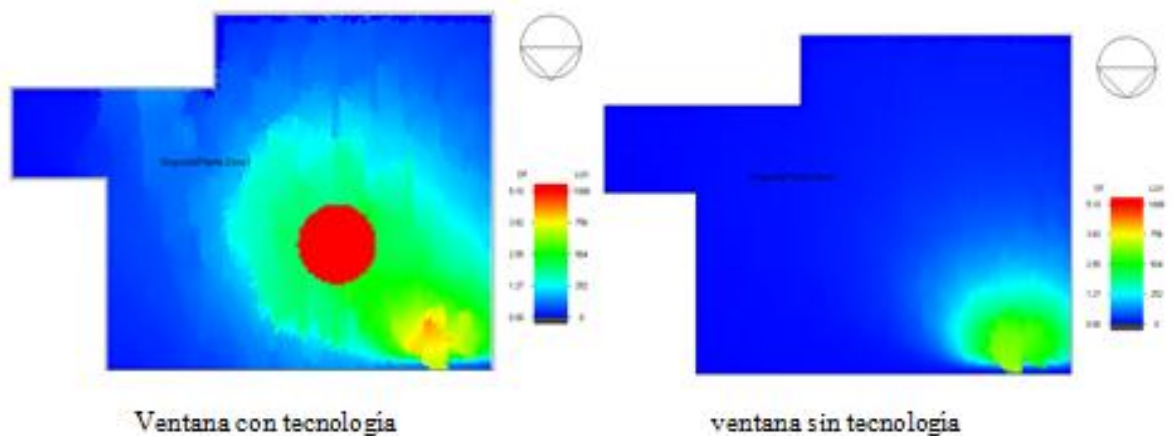


Figura D - 18 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 12 pm, con escala máxima 1000 luxes

En la Figura D - 17 y Figura D - 18 se observa un aporte en la distribución de iluminación por parte de la tecnología de iluminación natural en la habitación, para una escala máxima de 1000 luxes en la respectiva zona, se puede concluir que la claraboya si realiza un aporte de iluminación significativo.

A continuación se presenta los aportes realizados por las claraboyas con un escala maxima de iluminación de 500 luxes, siguiendo la metodología mencionada anteriormente.

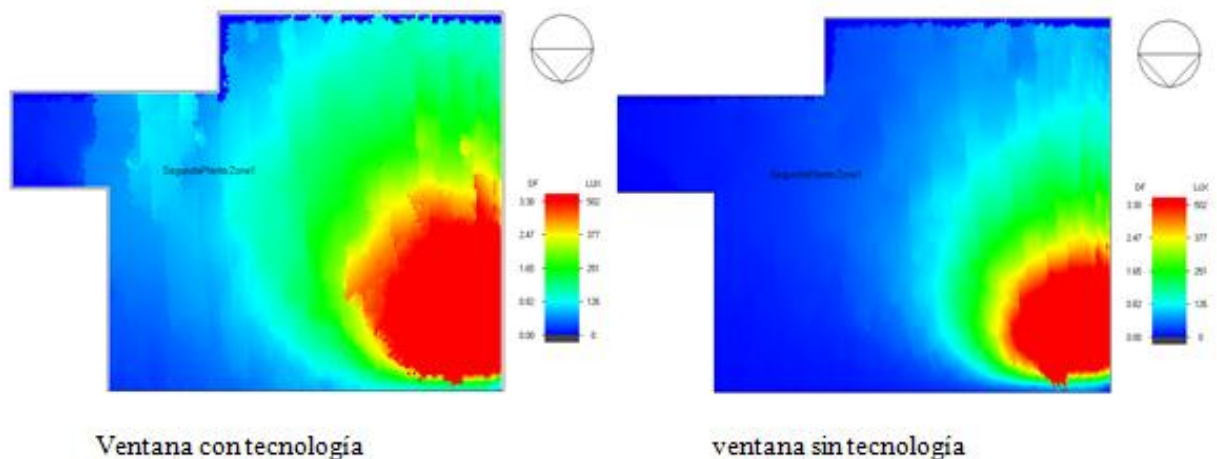


Figura D - 19 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 8 am, con escala máxima 500 luxes

En la Figura D - 19 se muestra la comparación por iluminación natural que realiza la claraboyas para un límite de 500 luxes, en el cual se comprueba que la tecnología realiza un aporte significativo.

A continuación (ver Figura D - 20) se muestra una comparación de iluminación natural de dicha tecnología para las 12 pm, midiendo su intensidad en luxes, con un máximo de 500 luxes

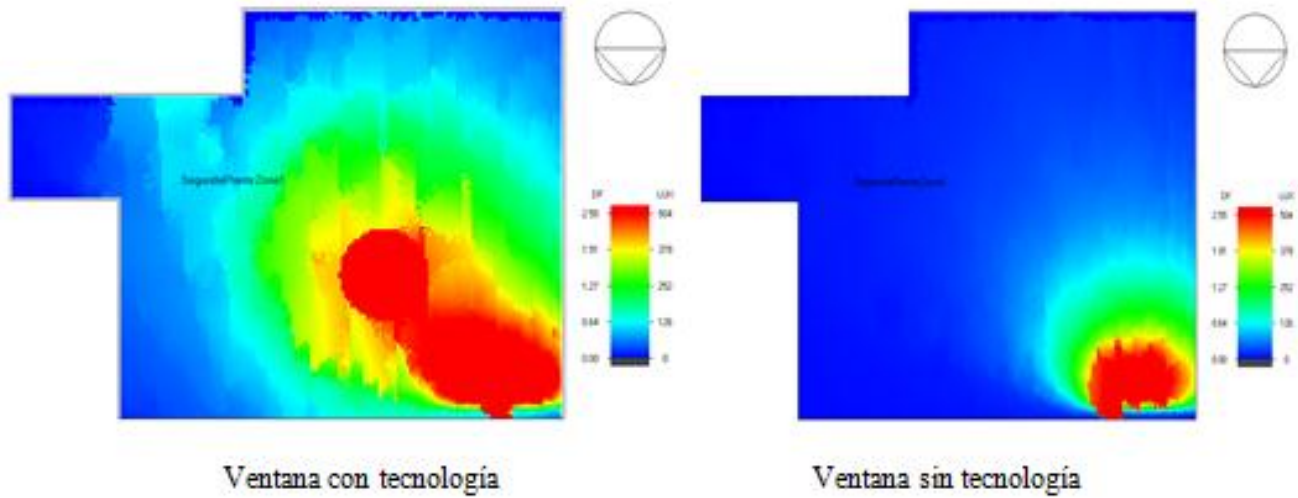


Figura D - 20 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología 12 pm, con escala máxima 500 luxes

Guía de luz sombreada

Para evidenciar el aporte echo por la tecnología se presenta la tecnología ubicada en la alcoba dos de la vivienda tipo eliminado la ventana de manera que se observa el aporte de iluminación hecho solo por la tecnología. La fecha evaluada es el 21 de junio.

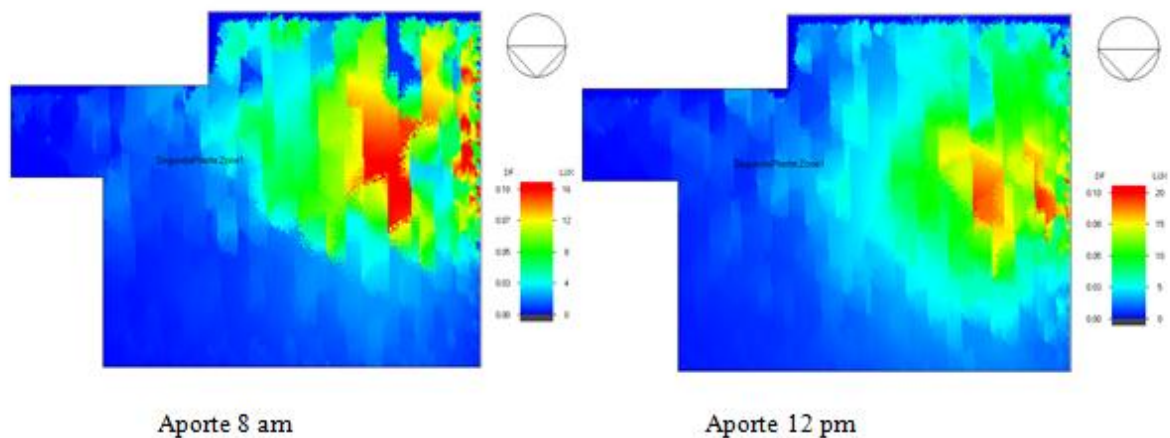


Figura D - 21 Aporte iluminación Guía de luz sombreada, con escala máxima 1000 luxes

En la se Figura D - 21 observa que la tecnología efectivamente realiza un aporte de iluminación en la zona ubicada.

A continuación se presenta los resultados del mapa de iluminación obtenido por el software, agregando a la zona evaluada la ventana que posee en el diseño original de la vivienda tipo seleccionada junto a la tecnología y luego la zona sin tecnología y con solo ventana.

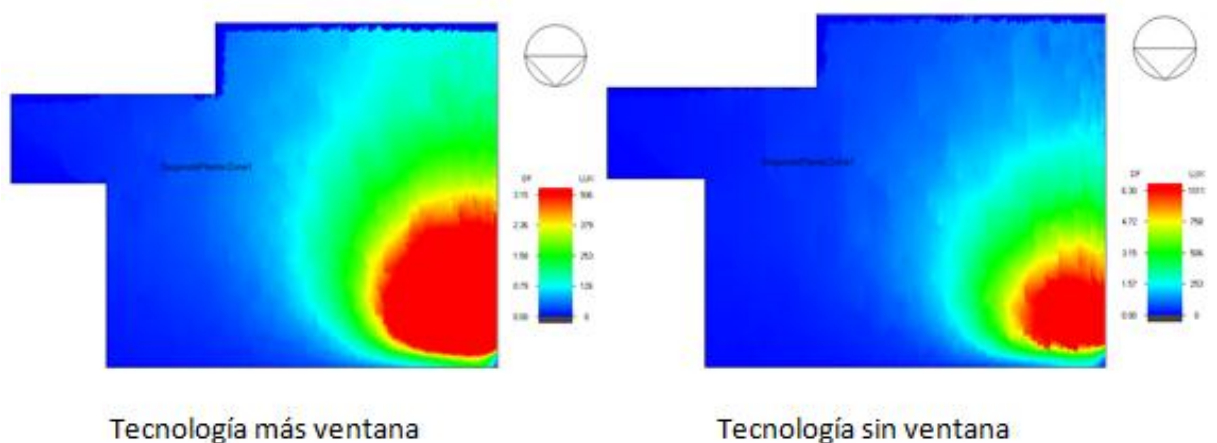


Figura D - 22 Comparación distribución de iluminación por parte de la tecnología para las 8 am, con escala máxima 500 luxes

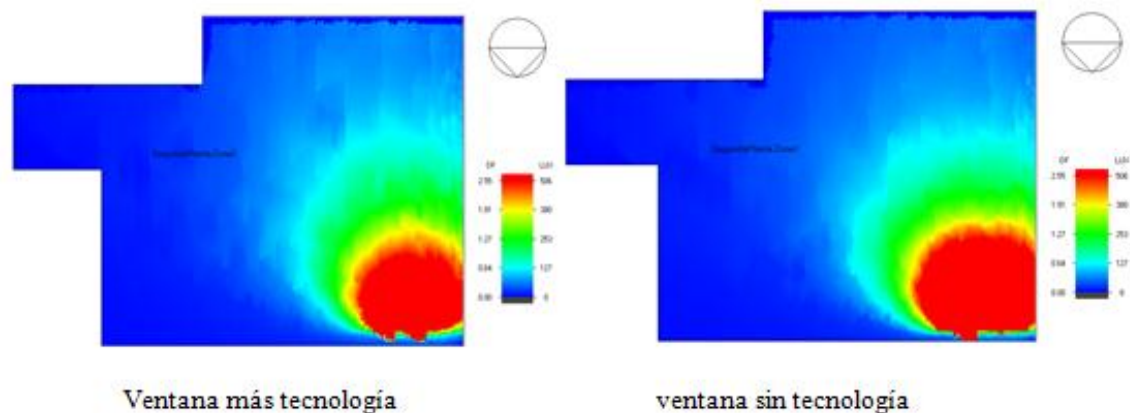


Figura D - 23 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 12 pm, con escala máxima 500 luxes

En la Figura D - 22 y Figura D - 23 se observa un aporte en la distribución de iluminación por parte de la tecnología de iluminación natural en la habitación, para un nivel de iluminación de 500 luxes, en el horario de 8 am y 12 pm.

Ductos Solares

Para evidenciar el aporte echo por la tecnología, se presenta la tecnología ubicada en la alcoba dos de la vivienda tipo eliminado la ventana de manera que se observa el aporte de iluminación hecho solo por la tecnología. La fecha evaluada es el 22 de marzo.

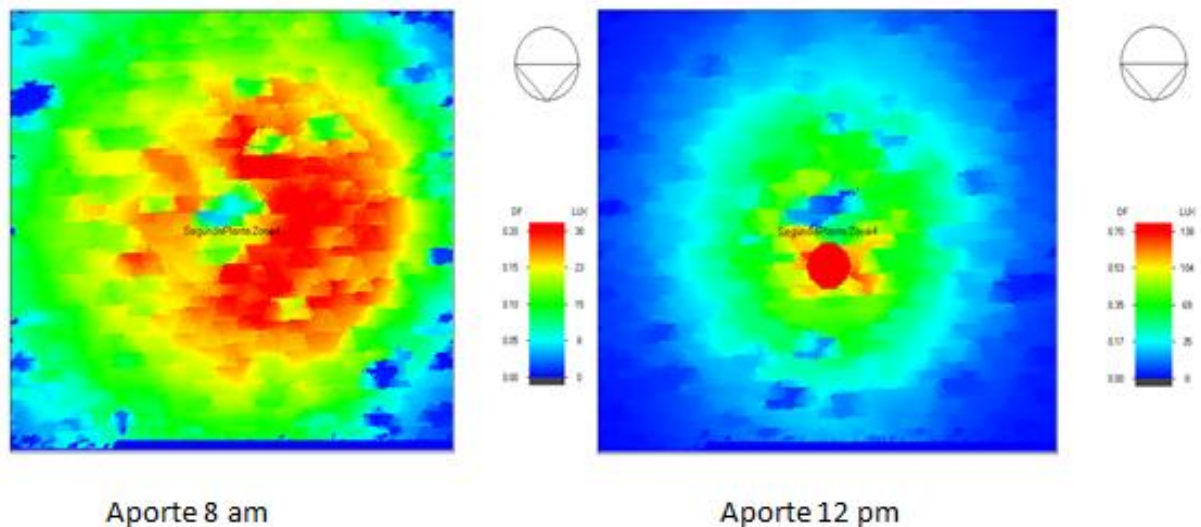


Figura D - 24 Aporte iluminación ducto solar

En la Figura D - 24 se observa que la tecnología efectivamente realiza un aporte de iluminación en la zona ubicada

A continuación se presenta los resultados del mapa de iluminación obtenido por el software, agregando a la zona evaluada la ventana que posee en el diseño original de la vivienda tipo seleccionada junto a la tecnología y luego la zona sin tecnología y con solo ventana.

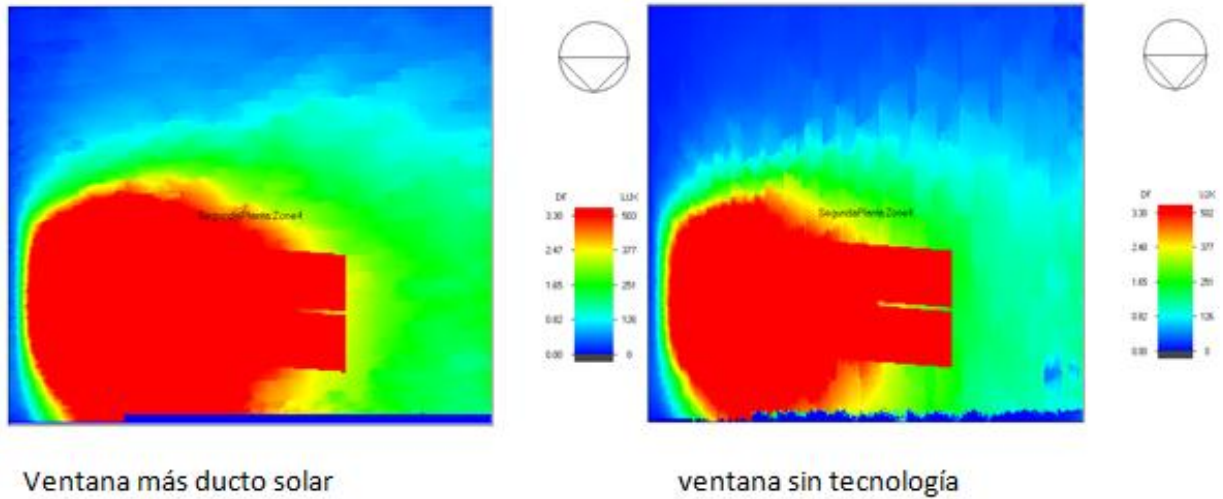


Figura D - 25 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 8 am, con escala máxima 500 luxes

En la Figura D - 25 se observa la distribución de luz natural al interior de la vivienda, y se puede concluir que el ducto solar realiza un aporte significativo de luz.

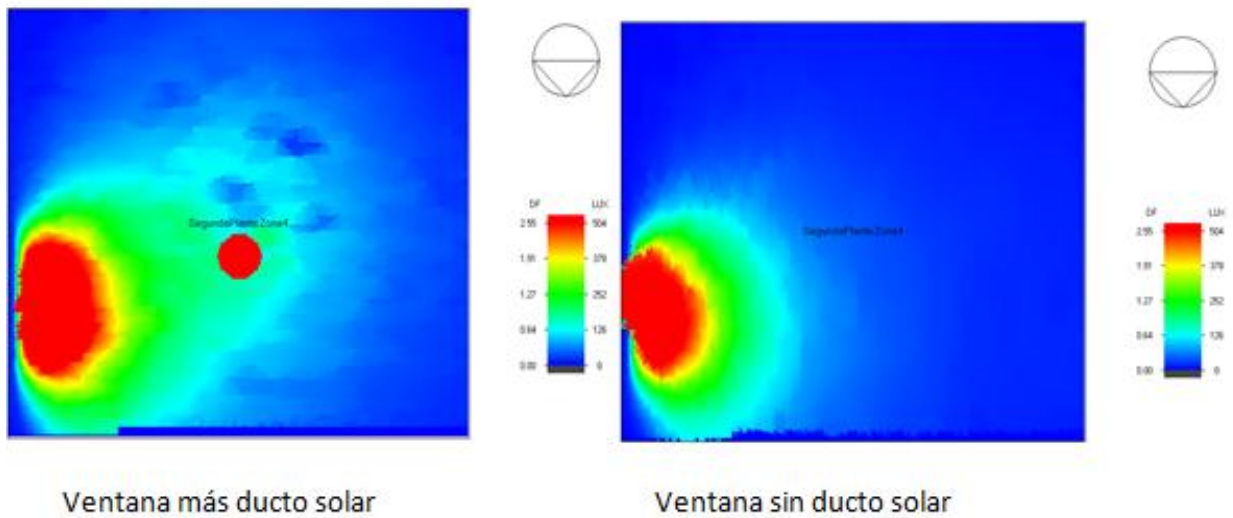


Figura D - 26 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 12 pm

En la Figura D - 25 y Figura D - 26 se observa un aporte en la distribución de iluminación por parte de la tecnología de iluminación natural en la habitación para 500 luxes, en el horario de las 12 pm.

Tragaluz angular selectivo

Para evidenciar el aporte hecho por la tecnología se presenta la tecnología ubicada en la alcoba dos de la vivienda tipo eliminando la ventana de manera que se observa el aporte de iluminación hecho solo por la tecnología. La fecha evaluada es el 22 de marzo.

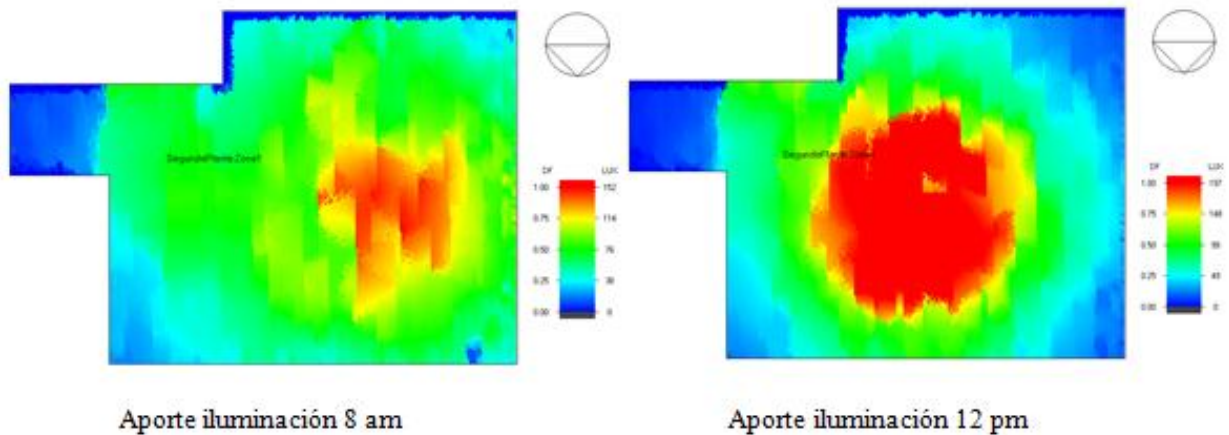


Figura D - 27 Aporte iluminación tragaluz angular selectivo

En la Figura D - 27 se observa que la tecnología efectivamente realiza un aporte de iluminación en la zona ubicada.

A continuación se presenta los resultados del mapa de iluminación obtenido por el software, agregando a la zona evaluada la ventana que posee en el diseño original de la vivienda tipo seleccionada junto a la tecnología y luego la zona sin tecnología y con solo ventana.

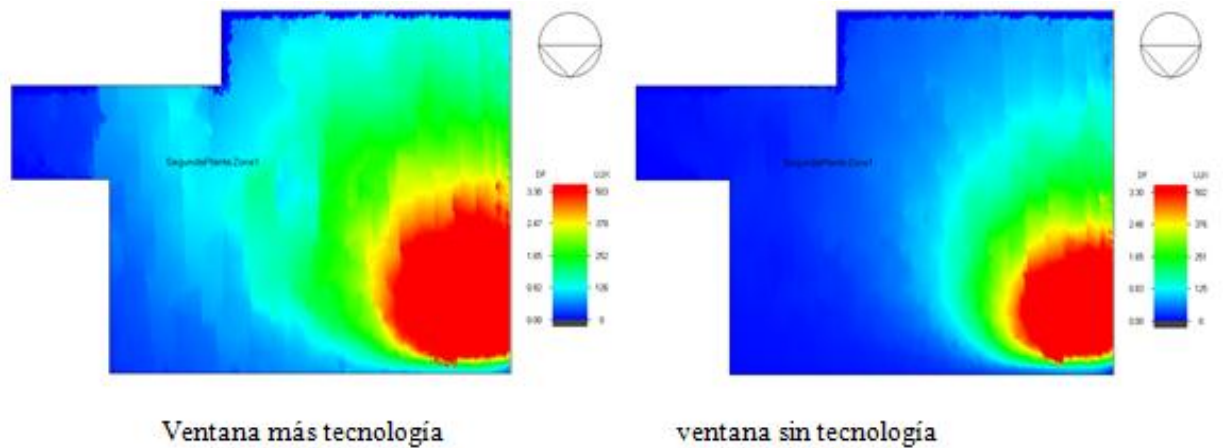


Figura D - 28 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 8 am, con escala máxima 500 luxes

En la Figura D - 28 se observa la comparación de luz natural que ingresa al interior del recinto, para el horario de las 8 am tomando como referencia el caso base con tecnología (lado derecho) y comparado cuando se incluye el tragaluz angular selectivo (lado izquierdo), se observa que el tragaluz angular realiza un aporte de iluminación puesto que se observa una mejor distribución de luz natural.

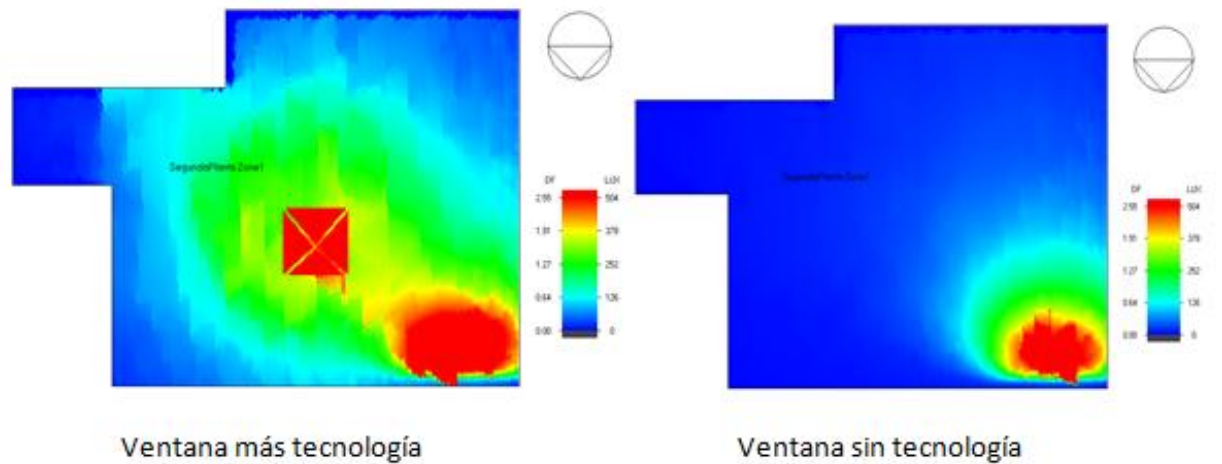


Figura D - 29 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 12 am

En la Figura D - 28 y Figura D - 29 se observa un aporte en la distribución de iluminación debido a la utilización de iluminación natural en la habitación seleccionada, para un escala máxima de iluminación de 500 Luxes.

Panel cortado a laser

Para evidenciar el aporte hecho por el panel cortado a laser, se presentan dos casos, para el primer caso la ventana ubicada en la alcoba dos de la vivienda tipo posee un acristalamiento normal (vidrio estándar) y como segundo caso se presenta la ventana pero ubicando en esta el panel cortado a laser de manera que se comparan los resultados a fin de evidenciar el aporte de iluminación al implementar la tecnología. La fecha evaluada es el 22 de marzo.

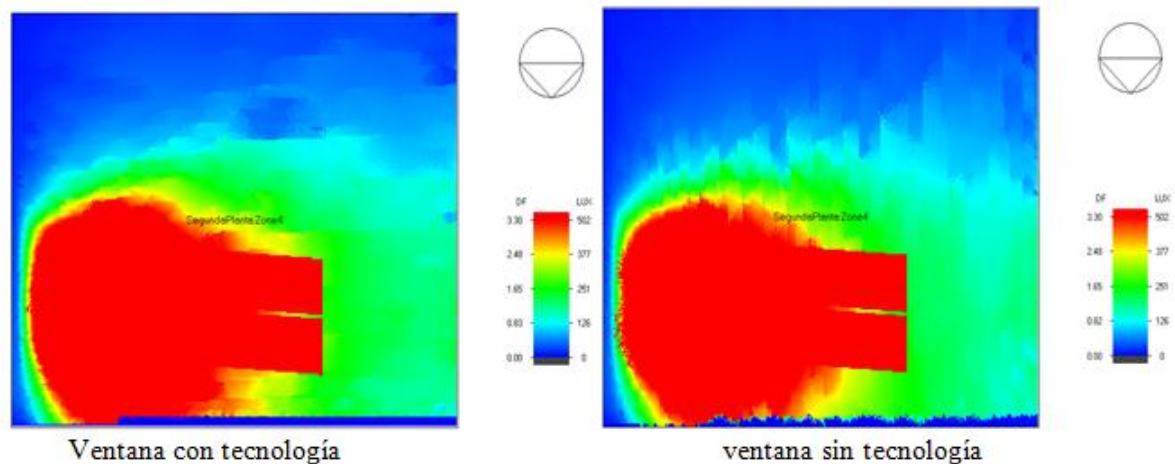


Figura D - 30 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 8 am, con escala máxima 500 luxes

En las Figura D - 30 observa cambio en la distribución de iluminación debido a la utilización de la tecnología de iluminación natural en la habitación, se puede concluir que si hay una mejora en la distribución de luz natural.

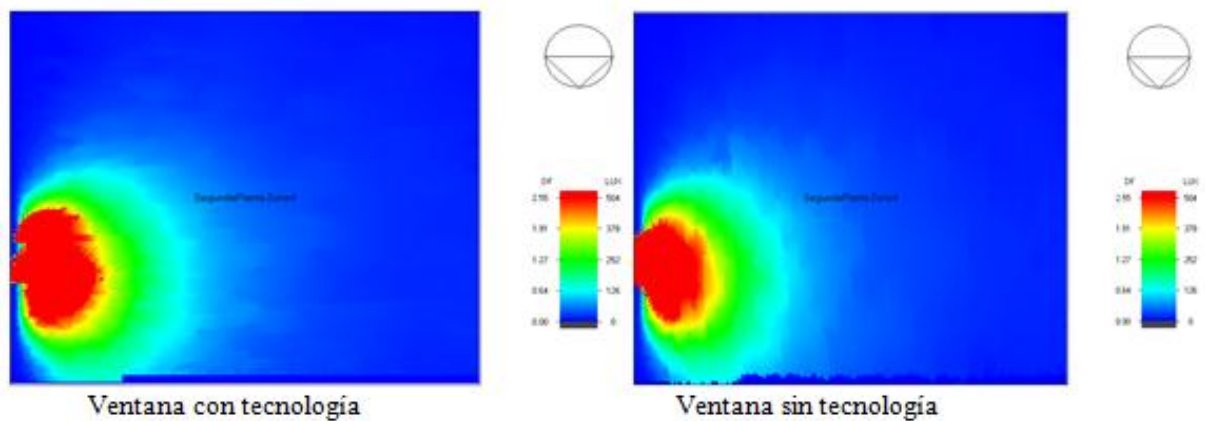


Figura D - 31 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 12 p.m, con escala máxima 500 luxes

La Figura D - 31 realiza una comparación en la distribución de luz natural al interior de la vivienda, específicamente la zona seleccionada en el horario de las 12 pm, concluyendo que el panel cortado a laser realiza un aporte en iluminación redistribuyendo la luz al interior del recinto.

Persianas

Para evidenciar el aporte hecho por las persianas se presentan dos casos, para el primer caso la ventana ubicada en la alcoba dos de la vivienda tipo no posee persianas ubicadas en la ventana y como segundo caso se presenta la ventana pero ubicando en esta persianas de manera que se comparan los resultados a fin de evidenciar el resultado de implementar la tecnología. La fecha evaluada es el 22 de marzo. Para este análisis se realiza una comparación variando los ángulos de las persianas de 0, 30, y 45 grados.

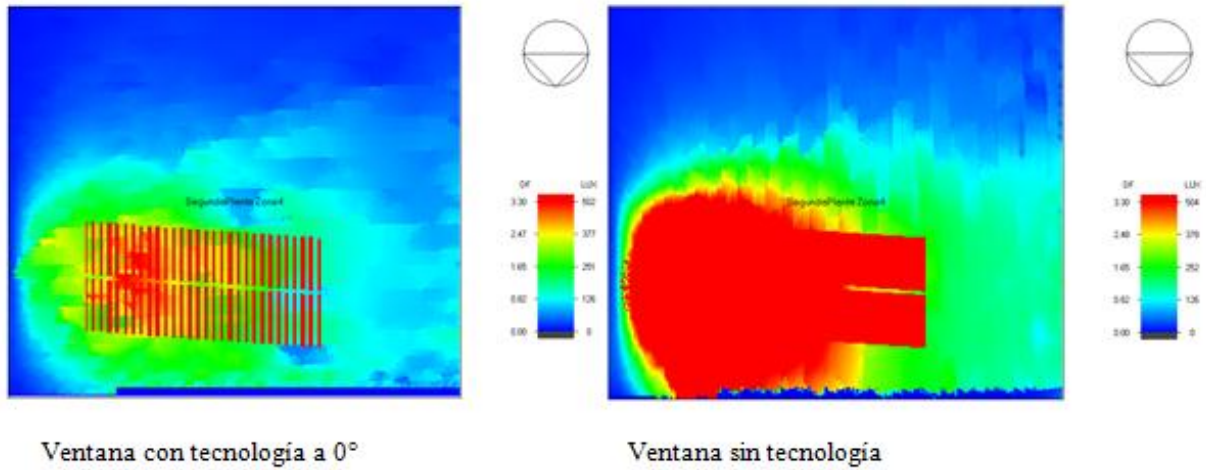


Figura D - 32 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 8 am, a 0°

En la Figura D - 32 se observa un cambio en la distribución, debido a la utilización de la tecnología de iluminación natural en la habitación, con una inclinación del listón del persiana es de 0°, con escala máxima de 500 luxes. No se realizó comparación a las 12 pm porque su aporte no es significativo.

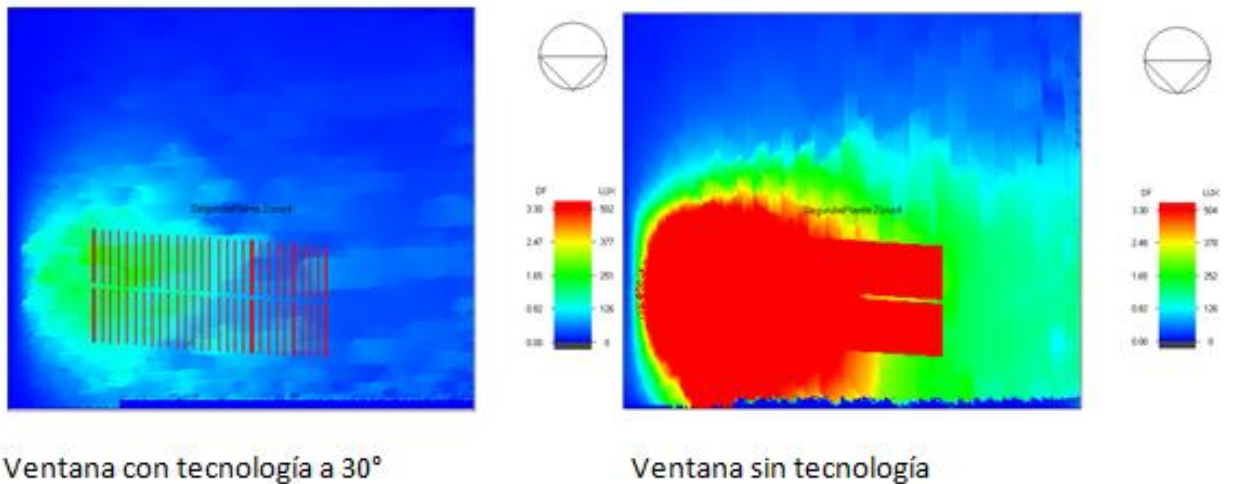


Figura D - 33 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 8 am, a 30°, con escala máxima 500 luxes

La Figura D - 33 realiza una comparación en la distribución de luz natural al interior de la zona estudiada, obteniendo una disminución de iluminación, se considera más protección de radiación solar que un redistribuidor de luz natural.

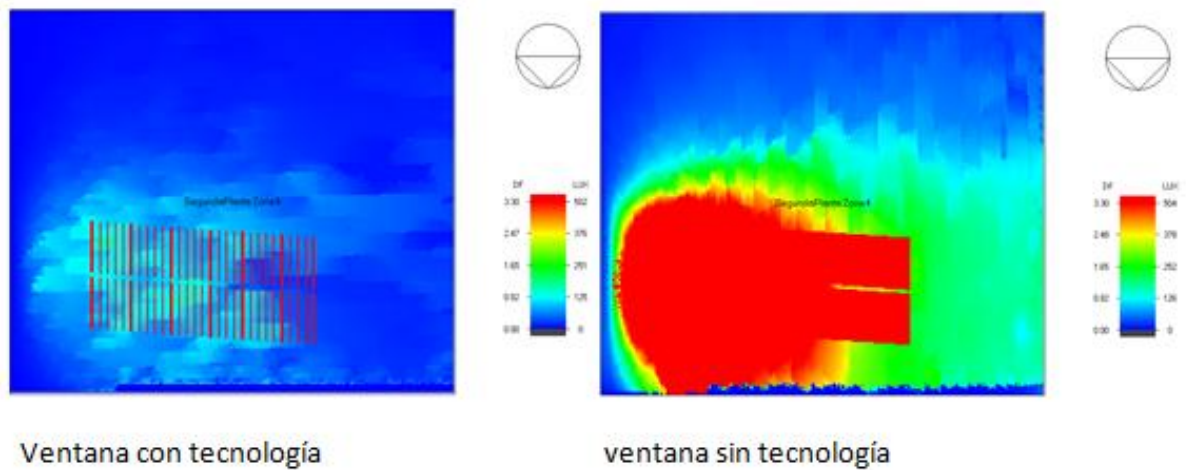


Figura D - 34 Comparación distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 8 am, a 90°, con escala máxima 500 luxes

La Figura D - 34 realiza una comparación en la distribución de luz natural al interior de la zona estudiada, se puede observar que la persiana no realiza un aporte significativo en cuanto a iluminación.

Estantes de luz

Para evidenciar el aporte echo por la tecnología se presenta la tecnología ubicada en la alcoba uno de la vivienda tipo eliminado la ventana de manera que se observa el aporte de iluminación hecho solo por la tecnología. La fecha evaluada es el 22 de marzo.

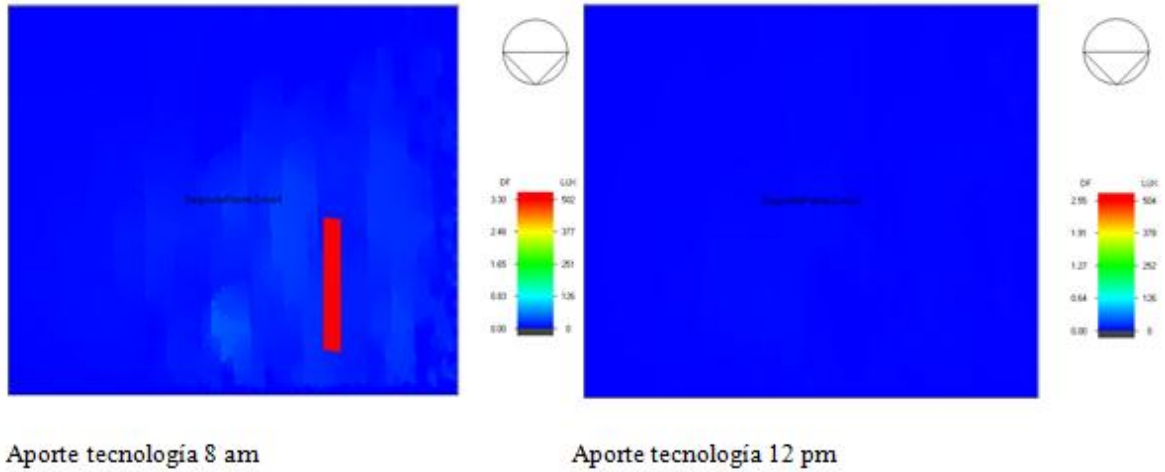


Figura D - 35 Aporte tecnología estantes de luz

A continuación se presenta los resultados del mapa de iluminación obtenido por el software (ver Figura D - 36 y Figura D - 37), agregando a la zona evaluada la ventana que posee en el diseño original de la vivienda tipo seleccionada junto a la tecnología y luego la zona sin tecnología y con solo ventana para un nivel de 500 luxes.

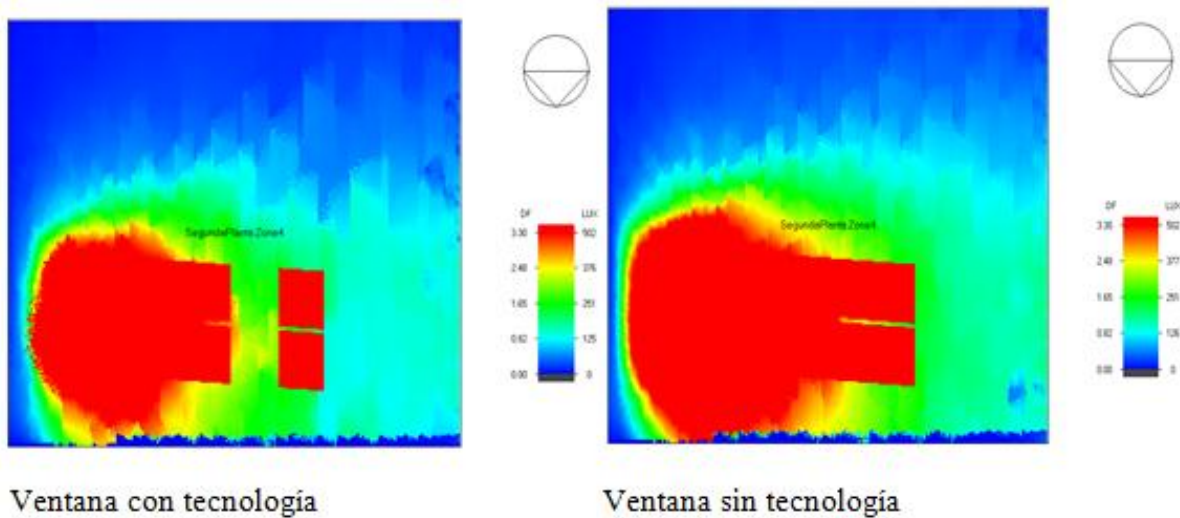


Figura D - 36 Distribución de iluminación por aporte de la tecnología para las 8 am, con escala máxima 500 luxes

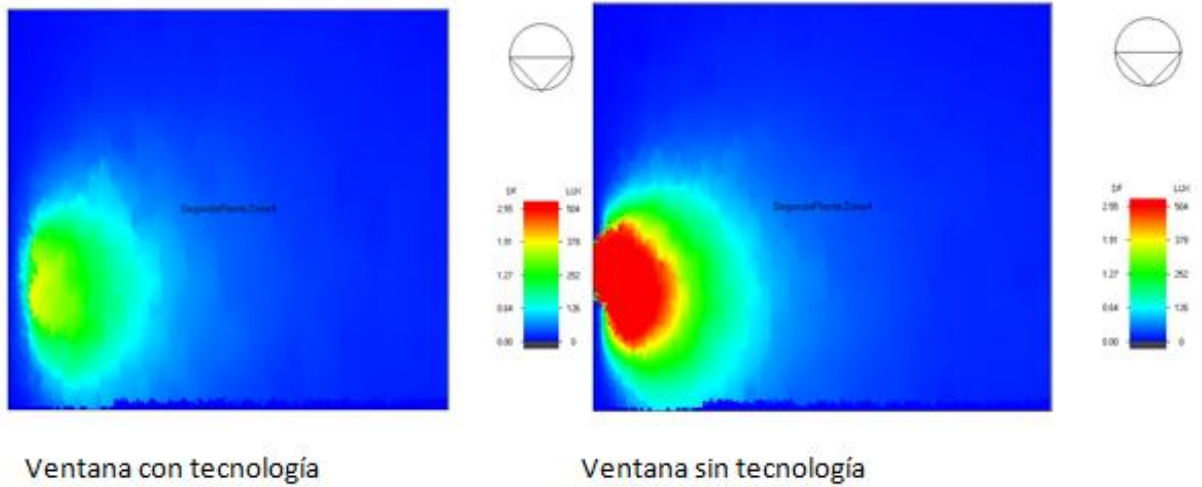


Figura D - 37 Comparación distribución de iluminación por aportes de la tecnología para la 12 pm, con escala máxima 500 luxes

En la Figura D - 36 y Figura D - 37 se observa un aporte en la distribución de iluminación por parte de la tecnología de iluminación natural en la habitación, para 500 luxes en la respectiva zona, se puede concluir que el estante de luz sirve más como una guía de luz y protección solar, la cual no mejora el nivel de iluminación al interior de la vivienda.

ANEXO E ANALISIS ECONOMICO

En este anexo se presenta un análisis económico general de las costos de inversión de la tecnologías y tiempo de recuperación de la esta inversión, esto a fin de definir la viabilidad de implementación tecnologías de iluminación natural en viviendas de interés social.

E.1. Costo tecnologías

Tragaluz angular selectivo

Para esta tecnología no se consiguió una cotización, debido a que el fabricante no facilito la misma, por ello se estimara el precio total de la tecnología conociendo el valor de cada uno de los materiales constitutivos de la misma y que permiten su buen funcionamiento. En la Tabla E - 1 se presentan los costos del tragaluz angular selectivo con panel cortado a laser.

Tragaluz angular selectivo con panel cortado a laser			
Materiales	Costo unitario	Cantidad	Costo
Vidrio incoloro 3mm	\$ 10 000,0	0,648	\$ 6 480,00
Aluminio reflectante (listones)	\$ 19 200,0	0,32 [m ²]	\$ 6 144,00
Base (aluminio estándar)	\$ 35 150,0	0,2 [m ²]	\$ 7 030,00
Ángulo en aluminio	\$ 873,83	6,132 [mL]*	\$ 5 358,33
Costo total unidad			\$ 25 012,33
Instalación (20% costo total unidad)			\$ 5 002,47
Costo Total + Instalación			\$ 30 014,79

*Nota: ML: metro lineal

Tabla E - 1 Costo tragaluz angular selectivo

Aberturas Anidolicas Cenitales

Para el diseño de las aberturas anidolicas cenitales no se consiguió una cotización, debido a que el fabricante no facilito la misma, por ello se estimara el precio

total de la tecnología conociendo el valor de cada uno de los materiales constitutivos de la misma y que permiten su buen funcionamiento. En la Tabla E - 2 se presentan los costos de la abertura anidolica cenital.

Abertura anidolica cenital			
Materiales	Costo unitario	Cantidad	Costo
acristalamiento	\$ 1 820,00	0,182 [m ²]	\$ 1 820,00
Aluminio reflectante	\$ 25 881,60	1,3 [m ²]	\$ 25 881,60
Aluminio estándar	\$ 47 382,20	1,3 [m ²]	\$ 47 382,20
Ángulo en aluminio	\$ 6 849,08	7,8 [mL]	\$ 6 849,08
Costo total unidad			\$ 81 932,88
Instalación (20% costo total unidad)			\$ 16 386,58
Costo Total unidad + Instalación			\$ 98 319,46

Tabla E - 2 Abertura anidolica cenital

Estantes de luz

Para el diseño de los estantes no se consiguió una cotización, debido a que el fabricante no facilito la misma, por ello se estimara el precio total de la tecnología conociendo el valor de cada uno de los materiales constitutivos de la misma y que permiten su buen funcionamiento. En la Tabla E - 3 se presentan los costos del estante de luz.

Estantes de luz			
Materiales	Costo unitario	Cantidad	Costo
Aluminio reflectante	\$ 19 200,0	0,24 [m ²]	\$ 4 608,0
Aluminio estándar	\$ 35 150,0	0,24 [m ²]	\$ 8 436,0
Ángulos en aluminio	\$ 873,8	0,6 [mL]	\$ 524,3
Costo total unidad			\$ 13 568,3
Instalación (20% costo total unidad)			\$ 2 713,6
Costo Total unidad + Instalación			\$ 16 281,9

Tabla E - 3 Costo estantes de luz

Guías de luz sombreada

Para el diseño de las guías de luz sombreada no se consiguió una cotización, debido a que el fabricante no facilito la misma, por ello se estimara el precio total de la tecnología conociendo el valor de cada uno de los materiales constitutivos de la

misma y que permiten su buen funcionamiento. En la Tabla E - 4 se presentan los costos de la guía de luz sombreada.

Guía de luz sombreada			
Materiales	Costo unitario	Cantidad	Costo
Acrilamiento	\$10 000,0	0,117 [m ²]	\$ 1 170,0
Aluminio reflectante	\$19 200,0	0,352 [m ²]	\$ 6 758,4
Aluminio estándar	\$35 150,0	0,352 [m ²]	\$ 12 372,8
Ángulos en aluminio	\$ 873,8	5,976 [mL]	\$ 5 222,0
Costo total unidad			\$ 25 523,2
Instalación (20% costo total unidad)			\$ 5 104,6
Costo Total unidad + Instalación			\$ 30 627,8

Tabla E - 4 Costo Guía de luz sombreada

Panel cortado a laser

Para el diseño del panel cortado a laser no se consiguió una cotización, debido a que el fabricante no facilitó la misma, por ello se estimó el precio total de la tecnología conociendo el valor de cada uno de los materiales constitutivos de la misma y que permiten su buen funcionamiento. En la Tabla E - 5 se presentan los costos del panel cortado a laser.

Panel cortado a laser			
Materiales	Costo unitario	Cantidad	Costo
Vidrio incoloro 3mm	\$ 10 000,0	0,8 [m ²]	\$ 16 000,0
Aluminio reflectante (listones)	\$ 19 200,0	0,528[m ²]	\$ 10 137,6
Angulo de aluminio	\$ 873,8	3,6 [mL]	\$ 3 145,7
Costo total unidad			\$ 29 283,3
Instalación (20% costo total unidad)			\$ 5 856,6
Costo Total unidad + Instalación			\$ 35 140,0

Tabla E - 5 Costo panel cortado laser

Ductos solares

Para el ducto se consiguió una cotización de la empresa Cointelco, en la página web²⁸ se encuentra más información de esta compañía, en la Tabla E - 6 se presenta el costo del ducto solar.

Ducto SOLATUBE	Costo
KIT BASICO 160 DS(25 cm) instalado	\$ 942 000,0

Tabla E - 6 Costo ducto solar

²⁸ www.cointelco.com

Claraboyas circulares

Para el diseño de las claraboyas no se consiguió una cotización, debido a que el fabricante no facilitó la misma, por ello se estimó el precio total de la tecnología conociendo el valor de cada uno de los materiales constitutivos de la misma y que permiten su buen funcionamiento. En la Tabla E - 7 se observan los costos de la claraboya circular.

Claraboyas circulares			
Materiales	Costo unitario	Cantidad	Costo
Vidrio de Bronce 4mm forma circular	\$ 8 000,0	1	\$ 8 000,0
Vidrio incoloro 3mm	\$ 10 000,0	0,56 [m ²]	\$ 5 600,0
Aluminio estándar	\$ 35 150,0	0,076 [m ²]	\$ 2 671,4
Ángulos de aluminio	\$ 873,8	5,7 [mL]	\$ 4 980,8
Costo total unidad			\$ 16 271,4
Instalación (20% costo total unidad)			\$ 3 254,2
Costo Total unidad + Instalación			\$ 19 525,6

Tabla E - 7 Costo claraboya circular

Persianas

Para las persianas se consiguió una cotización. En la Tabla E - 8 se observa el costo de las persianas.

Persianas	Costo
Reigga Mini persiana 100x140 cm instalado	\$ 63 800,0

Tabla E - 8 Costo persianas

E.1. Cálculo año recuperación de la inversión

Para estimar los años de recuperación de la inversión inicial, la cual hace referencia al costo de cada tecnología. Se tomó que el costo de energía eléctrica se incrementa en una proporción del 1.9% [32]; y se considera la inflación anual como el promedio de la inflación en Colombia de los últimos cinco años [33]. Se utiliza la Ecuación E - 1 de una anualidad creciente [34] debido a que el precio de la energía eléctrica se incrementa año-año; se debe calcular los años (n), en el cual el valor presente (VP) de la anualidad con el interés respectivo (i) y tasa de crecimiento (g) es igual al valor del costo de la tecnología.

$$VP = \frac{A}{i - g} \left[1 - \left(\frac{1 + g}{1 + i} \right)^n \right]$$

Ecuación E - 1

VP= Valor presente neto.

A= Valor anualidad.

i= Interés anual.

g= Tasa de crecimiento de la anualidad

n= numero de periodos anualidad.

Año recuperación de la inversión e inversión inicial							
Inflación anual	2,82%	Incremento precio energía eléctrica			1,90%		
Tecnologías	Ahorro de energía anual [kWh/año]	Ahorro económico anula Estrato 1 [\$/año]	Ahorro económico anual Estrato 2 [\$/año]	Inversión inicial [\$]	Recuperación de la inversión Estrato 1 [Años]	Recuperación de la inversión Estrato 2 [Años]	
Estantes de luz	-42,2	-7 033,6*	-8 770,0*	65 127,8	Na***	Na***	
Paneles cortados a laser	21,1	3 521,8	4 391,2	140 560,2	51	39	
Guías de luz sombreado	-57,7	-9 634,5*	-12 013,0*	122 511,4	Na***	Na***	
Aberturas anidolicas cenitales	34,9	5 815,7	7 251,5	393 277,8	108	77	
Tragaluz angular selectivo	33,6	5 607,2	6 991,5	120 059,1	24	19	
Ducto solar	38,2	6 367,9	7 940,0	3 768 000,0	IND**	IND**	
Claraboyas circulares	8,9	1 478,1	1 843,0	78 102,7	74	54	
Persianas	-6,4	-1 061,0*	-1 323,0*	255 500,0	Na***	Na***	

*incremento económico en el consumo de energía eléctrica.

** IND: indeterminado debido al alto costo de la inversión inicial.

*** Na: no aplica debido a que no existe ahorro potencial.

Tabla E - 9 Tiempo recuperación de la inversión

Para el análisis de presupuesto se consideran los costos de cada tecnología (materiales, mano de obra e instalación), y se consideran los costos de construcción de la vivienda basados en el presupuesto de la vivienda. En la Tabla E - 10 se presentan los elementos posibles a reemplazar al ubicar la tecnología y el costo de cada ítem según el presupuesto obtenido de en portal SECOP [21].

Ítem	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario [\$]	Valor total [\$]
Placa aligera impermeabilizada e=0.2 m incluye refuerzo vivienda medianera	m ²	21,38	113 964,0	2 436 550,0
Carpintería metálica ventanas	m ²	3,61	81 288,0	293 450,0
Suministro e instalación de vidrio 3 mm	m ²	0,97	20 394,0	19 782,0
Suministro e instalación de vidrio 4 mm	m ²	3,11	29 870,0	92 896,0

Tabla E - 10 Costo por ítem afectado por la utilización de las tecnologías

Para estimar el impacto que se tiene sobre el costo directo de la vivienda tipo seleccionada se presenta el siguiente procedimiento presentado en la tabla y se presenta un ejemplo del cálculo del mismo:

A= Costo directo vivienda: 23 268 657,0

B=Ítem modificado por ubicación tecnología: ventana

C=Cantidad inicial (dentro presupuesto inicial): 4,08 m² en vidrios

D=Costo sobre el presupuesto inicial: 112 678,00

E=Cantidad final (nuevo elemento ubicado): 4,08 m² Paneles cortados a laser

F =Costo sobre el presupuesto: 300 000,0

G=Total presupuesto vivienda (con tecnología)

$$G = (A - D) + F = (23\,268\,657,0 - 112\,678,0) + 140\,560,26 = 23\,296\,539,26$$

Ecuación E - 2

Tecnologías	A [\$]	B	C	D [\$]	E	F [\$]	G [\$]
Paneles cortados a laser	23 268 657,0	Ventana	4 m ²	112 678,0	4,08 M ²	140 560,0	23 296 539,0
Estantes de luz	23 268 657,0	Ventana	4 m ²	0*	4 unid	651 27,0	23 333 784,0
Guías de luz sombreada	23 268 657,0	Ventana	4 m ²	0*	4 unid	122 511,0	23 391 168,0
Persianas	23 268 657,0	Ventana	4 m ²	0*	4 unid	255 600,0	23 253 857,0
Ducto solar	23 268 657,0	Placa techo	21 m ²	128 890,0	4 unid	3 768 000,0	26 907 766,0
Aberturas anidolicas	23 268 657,0	Placa techo	21 m ²	104 846,0	4 unid	393 277,0	23 557 087,0
Tragaluz angular	23 268 657,0	Placa techo	21 m ²	104 846,0	4 unid	120 059,0	23 283 869,0
Claraboya circular	23 268 657,0	Placa techo	21 m ²	128 890,0	4 unid	78 102,0	23 241 913,0

*Nota: no se debe realizar la resta debido a estas no modifican el elemento sobre el cual se ubican

Tabla E - 11 Incremento en el costo directo de la vivienda