

**ELEMENTO PARA ILUMINACIÓN QUE REDUZCA EL CONSUMO
ENERGÉTICO GENERADO EN LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL
(VIS). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.**

DIANA MARCELA CASTRO MÁRQUEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2014**

**ELEMENTO PARA ILUMINACIÓN QUE REDUZCA EL CONSUMO
ENERGÉTICO GENERADO EN LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL
(VIS). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.**

DIANA MARCELA CASTRO MÁRQUEZ

**Trabajo de grado para optar al título de
Diseñadora Industrial**

**Director
LUIS EDUARDO BAUTISTA ROJAS
Diseñador Industrial, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2014**

Juan Pablo, Javier, Luz Nelly y Adolfo:

Mis pilares.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	17
1. Origen del proyecto	18
2. Objetivos	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos	19
3. Etapa 1: Indagación	20
3.1. Contextualización.....	20
3.1.1. Viviendas de interés social	20
3.1.2. Iluminación natural.....	25
3.2. Productos existentes.....	28
3.2.1. “Litro de luz”	29
3.2.2. Sistemas de tubos reflectantes	31
3.3. Usuarios.....	44
3.3.1. Usuarios primarios	44
3.3.2. Usuarios secundarios	58
3.4. Necesidades técnicas y de usuario.....	60
3.5. Especificaciones de producto	61
4. Etapa 2: Creación.....	65
4.1. Lluvia de ideas	65
4.2. Pruebas experimentales	67
4.2.1. Primera prueba: Recolector y principio de funcionamiento.....	67
4.2.2. Segunda Prueba: Conductor	71
4.2.3. Tercera Prueba: Conductor	73
4.2.4. Cuarta Prueba: Difusor	74
4.2.5. Conclusiones	77
4.2.6. Consulta con experto: PhD. Arturo Plata	78
4.3. Generación de alternativas de producto.	78
4.3.1. Alternativa 1	81
4.3.2. Alternativa 2	82
4.3.3. Alternativa 3.....	83
4.3.4. Alternativa 4.....	84
4.3.5. Alternativa 5.....	85
4.3.6. Alternativa 6.....	86
4.4. Filtrado de alternativas: Evaluación del desempeño lumínico	87
4.4.1. Variables.....	87
4.4.2. Resultados.....	88

4.5. Filtrado de conceptos.....	88
4.6. Evaluación con expertos.....	89
4.6.1. Perfil de los evaluadores.....	90
4.6.2. Criterios de evaluación.....	90
4.6.3. Interpretación de resultados.....	91
4.7. Prueba de concepto.....	92
4.7.1. Objetivo.....	93
4.7.2. Herramientas.....	93
4.7.3. Materiales.....	93
4.7.4. Modelo funcional.....	93
4.7.5. Variables.....	94
4.7.6. Procedimiento.....	94
4.7.7. Datos recopilados.....	94
4.7.8. Conclusiones.....	95
5. Etapa 3: Arquitectura del producto.....	96
5.1. Consulta con experto: Arturo Plata.....	96
5.2. Sistema óptico Schmidt-Cassegrain (SCT).....	97
5.3. Esquema del producto.....	97
5.4. Recolector.....	102
5.4.1. Estructura recolector.....	103
5.4.2. Superficie reflector.....	103
5.4.3. Empaque vidrio.....	103
5.4.4. Vidrio.....	103
5.4.5. Soporte subreflector.....	103
5.4.6. Estructura subreflector.....	103
5.4.7. Superficie subreflector.....	104
5.5. Conductor.....	104
5.5.1. Chapa metálica.....	104
5.5.2. Tubo aislante.....	105
5.5.1. Abrazadera.....	105
5.5.2. Anclaje a planta.....	105
5.6. Difusor.....	105
5.6.1. Soporte difusor.....	106
5.6.2. Marco difusor.....	106
5.6.3. Vidrio.....	106
5.6.4. Empaque vidrio.....	106
5.7. Selección de materiales.....	106
5.7.1. Reflexión de luz.....	107
5.7.2. Sujeción y ensamble.....	108
5.7.3. Anclaje exterior.....	109

5.7.4. Refracción de luz	110
5.7.5. Difusión de luz	110
5.7.6. Aislamiento térmico.....	110
5.7.7. Sujeción	110
5.7.8. Hermeticidad.....	110
5.7.1. Productos comerciales.....	110
5.8. Estimación de costos	110
5.9. Proceso de Instalación.....	111
5.10. Imagen del producto	116
3.8.1. Logotipo	116
5.11. Construcción de un modelo funcional	116
6. Etapa 4: Comprobaciones	121
6.1. Validación	121
6.1.1. Procedimiento.....	121
6.1.2. Herramientas	123
6.1.3. Materiales	123
6.1.4. Variables.....	123
6.1.5. Resultados.....	124
6.1.6. Conclusiones	126
6.2. Estimaciones.....	127
6.2.1. Variables.....	128
6.2.2. Procedimiento.....	128
6.2.3. Escenario 1: Con Solux	129
6.2.4. Escenario 2: Sin Solux.....	129
6.2.5. Resultados.....	129
6.2.6. Proyección a 10 años	130
6.3. Ventajas de la implementación de Solux	131
7. Conclusiones.....	133
7.1. Hallazgos	135
7.2. Trabajo futuro.....	135
Referencias.....	136
Anexos.....	140

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estado del mercado. Fuente: Autora	37
Tabla 2. Necesidades técnicas y de usuario. Fuente: Autora	60
Tabla 3. Especificaciones de producto. Fuente: Autora.....	62
Tabla 4. Filtrado de alternativas. Fuente: Autora.....	89
Tabla 5. Calificación de los expertos para cada criterio. Fuente: Autora.	90
Tabla 6. Resultados de la evaluación de los expertos. Fuente: Autora	92
Tabla 7. Resultados prueba de concepto. Fuente: Autora.....	94
Tabla 8. Propiedades ABS – POLIACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO. Fuente: Siim and Co., S.L.....	109
Tabla 9. Datos del producto: Acero aluminizado tipo 1. Fuente: (George Koch Sons, LLC, 2014).....	109
Tabla 10. Modelo de costos. Fuente: Autora.	111
Tabla 11. Resumen potencial de ahorro Solux. Fuente: Autora.	129
Tabla 12. Resumen de la proyección a 10 años. Fuente: Autora.	130
Tabla 13. Datos recopilados para el análisis de tareas. Fuente: Autora.	146
Tabla 14. Tablas para el registro de resultados de las pruebas experimentales. Fuente: Autora.....	148
Tabla 15. Valores mínimos de CLD que se deben cumplir en las edificaciones. Fuente: RETILAP.....	156
Tabla 16. Datos recopilados en la validación (día 1). Fuente: Autora.....	159
Tabla 17. Datos recopilados en la validación (día 2). Fuente: Autora.....	159

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Vivienda progresiva en Chile (proceso evolutivo). (Guerton, 2013).....	22
Ilustración 2. Unités d'habitation, viviendas multifamiliares en Berlín. (Zeballos, 2014).....	22
Ilustración 3. Estado actual de iluminación en las VIS. Fuente: Autora	23
Ilustración 4. Estado actual de iluminación en las VIS. Fuente: Autora	24
Ilustración 5. Fachada principal vivienda tipo Villas de San Ignacio Etapa 13. Fuente: INVISBU	24
Ilustración 10. Litro de luz. (Castillo, 2014)	29
Ilustración 11. Proceso de fabricación de Litro de Luz. (Litro de luz Colombia, 2014).....	30
Ilustración 12. Partes de un sistema de tubos reflectantes. (Solatube International, Inc., 2013)	31
Ilustración 13. Domo de cristal. (Lightway s.r.o., 2014)	32
Ilustración 14. La imagen ilustra el viaje de los rayos de luz a través del sistema de iluminación natural (Solatube International, Inc., 2013)	32
Ilustración 15. Sistemas de rastreo de luz Parans. (InfinityLimited, 2014)	33
Ilustración 16. Tubo de luz. (Lightway s.r.o., 2014).....	33
Ilustración 17. Tubo de luz en Postdamer Platz, Berlín, Alemania. (HelioBus, 2014).....	34
Ilustración 18. Tubo de luz flexible. (The Home Depot, 2014)	34
Ilustración 19. Difusor. (Lightway s.r.o., 2014)	35
Ilustración 20. Villas de San Ignacio (Betania). Fuente: Autora	44
Ilustración 23. Resultados primera jornada de entrevistas (remodelaciones deseadas). Fuente: Autora.	47
Ilustración 26. Resultados segunda jornada de entrevistas (iluminación utilizada). Fuente: Autora.	49
Ilustración 28. Resultados tercera jornada de entrevistas (iluminación). Fuente: Autora	51
Ilustración 29. Gráfico de tareas en las VIS. Fuente: Autora	54
Ilustración 32. Diagrama lluvia de ideas. Fuente: Autora	66
Ilustración 33. Modelos de Agua/Soluciones. Fuente: Autora.....	69
Ilustración 34. Modelos de Superficies. Fuente: Autora	70
Ilustración 36. Modelos prueba conductor. Fuente: Autora.....	72
Ilustración 38. Modelos prueba conductores. Fuente: Autora.	74
Ilustración 39. Modelos de difusores. Fuente: Autora	75
Ilustración 41. Distribución de iluminancias para cada modelo. Fuente: Autora	77

Ilustración 43. Alternativa #1. Fuente: Autora	81
Ilustración 44. Alternativa #2. Fuente: Autora	82
Ilustración 45. Alternativa #3. Fuente: Autora	83
Ilustración 46. Alternativa #4. Fuente: Autora	84
Ilustración 47. Alternativa #5. Fuente: Autora	85
Ilustración 48. Alternativa #6. Fuente: Autora	86
Ilustración 49. Iluminancias registradas por cada alternativa según V-Ray LightMeter. Fuente: Autora	88
Ilustración 50. Calificación ponderada de cada alternativa. Fuente: Autora .	92
Ilustración 51. Esquema del modelo funcional. Fuente: Autora	93
Ilustración 52. Distribución de los orificios en la cara inferior de la caja. Fuente: Autora.	94
Ilustración 53. Geometría para el diseño de un sistema Cassegrain. Fuente: Autora.	96
Ilustración 54. Vista de la trayectoria de la luz del diseño óptico del Schmidt- Cassegrain. Fuente: Celestron, LLC.....	97
Ilustración 55. Esquema del producto. Fuente: Autora.	98
Ilustración 56. Vivienda con Solux instalado. Fuente: Autora.	99
Ilustración 57. Vista recolector. Fuente: Autora.	100
Ilustración 58. Vista difusor. Fuente: Autora.	101
Ilustración 59. Vista explosionada recolector. Fuente: Autora.	102
Ilustración 61. Vista explosionada conductor. Fuente: Autora.	104
Ilustración 62. Vista explosionada difusor. Fuente: Autora.	105
Ilustración 63. Piezas de Solux agrupadas según su función. Fuente: Autora.	107
Ilustración 64. Reflectividad global de algunos materiales. Fuente: (R. Echazú, 2000).....	108
Ilustración 68. Logotipo y eslogan SOLUX. Fuente: Autora.....	116
Ilustración 69. Piezas prototipadas con el apoyo de Tecnoparque-SENA. Fuente: Autora.	116
Ilustración 70. Ensamblaje de estructura reflector. Fuente: Autora.....	117
Ilustración 71. Instalación de superficie reflectante en reflector. Fuente: Autora.	117
Ilustración 72. Instalación de superficie reflectante en subreflector. Fuente: Autora.	118
Ilustración 73. Ensamblaje e instalación del conductor. Fuente: Autora.	118
Ilustración 74. Ensamblaje e instalación del difusor. Fuente: Autora.	119
Ilustración 75. Recolector instalado en vivienda. Fuente: Autora.	119
Ilustración 76. Maqueta final escala 1:5. Fuente: Autora.	120
Ilustración 77. Modelo a escala 1:1. Fuente: Autora.....	122

Ilustración 78. Distribución de los orificios en la cara inferior de la caja. Fuente: Autora.	123
Ilustración 79. Coeficiente de luz diurna CLD. Fuente: RETILAP.	124
Ilustración 80. Iluminancias registradas en cielo cubierto. Fuente: Autora.	124
Ilustración 81. Iluminancias máximas y mínimas para cielo cubierto. Fuente: Autora.	125
Ilustración 82. Iluminancias registradas en cielo parcialmente nublado. Fuente: Autora.	126
Ilustración 83. Iluminancias máximas y mínimas para cielo parcialmente nublado. Fuente: Autora.	126
Ilustración 84. Iluminancias en diversas condiciones. Fuente: Autora.	127
Ilustración 85. CLD en diversas condiciones. Fuente: Autora.	127
Ilustración 86. Torta de costos de explotación, valor inicial y reposición (Escenario 1) Fuente: Autora.	131
Ilustración 87. Torta de costos de explotación, valor inicial y reposición (Escenario 2). Fuente: Autora.	131
Ilustración 88. Ventajas de la implementación de Solux. Fuente: Autora. ..	132
Ilustración 89. Localización de los proyectos actuales de VIS. Fuente: INVISBU.	141
Ilustración 90. Información básica del proyecto Villas de San Ignacio. Fuente: INVISBU.	142
Ilustración 92. Niveles de iluminación sugeridos para los espacios residenciales. Fuente: (Universidad Nacional de Colombia, 2007).....	147
Ilustración 93. Resultados simulación en VRay alternativa 1. Fuente: Autora.	149
Ilustración 94. Resultados simulación en VRay alternativa 2. Fuente: Autora.	150
Ilustración 95. Resultados simulación en VRay alternativa 3. Fuente: Autora.	150
Ilustración 96. Resultados simulación en VRay alternativa 4. Fuente: Autora.	151
Ilustración 97. Resultados simulación en VRay alternativa 5. Fuente: Autora.	151
Ilustración 98. Resultados simulación en VRay alternativa 6. Fuente: Autora.	152
Ilustración 99. Diseño de la parábola en Antena Calculator. Fuente: Autora.	153
Ilustración 100. Geometría del sistema óptico Cassegrain diseñado. Fuente: Autora.	154
Ilustración 101. Cálculo de la superficie del reflector. Fuente: Autora.	155
Ilustración 102. Cálculo de la superficie del subreflector. Fuente: Autora... ..	155

Ilustración 103. Pronóstico meteorológico para el viernes 10 de octubre de 2014. Fuente: IDEAM. 157

Ilustración 104. Pronóstico meteorológico para el miércoles 15 de octubre de 2014. Fuente: IDEAM. 158

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: Documentos suministrados por el INVISBU	140
Anexo B: Formatos de Entrevistas con usuarios primarios.....	144
Anexo C: Datos de análisis de tareas	146
Anexo D: Sugerencias para la iluminación de los espacios residenciales ..	147
Anexo E: Tablas de registro de datos - Pruebas experimentales	148
Anexo F: Resultados simulación en V-Ray para selección de alternativas ..	149
Anexo G: Diseño de detalle Sistema Óptico Cassegrain.	153
Anexo H: Valores mínimos de CLD que se deben cumplir en las edificaciones.	156
Anexo I: Pronósticos climáticos - Validación.....	157
Anexo J: Datos Validación	159

RESUMEN

Título^{*} : Elemento para iluminación que reduzca el consumo energético generado en las viviendas de interés social (vis). Diseño y construcción.

Autor (a)[†]: Diana Marcela Castro Márquez

Palabras claves: Iluminación natural, Consumo energético, Viviendas de interés social.

En el mercado existen numerosos productos orientados a la reducción del consumo energético por cuenta la iluminación, desde lámparas de diodos LEDs, hasta bombillas que se encienden por acción y efecto de la fuerza gravitatoria. Todos estos elementos carecen de las especificaciones apropiadas para brindar calidad de vida a los ocupantes de las VIS, ya sea por sus dimensiones, costos o prestaciones. Dentro de este panorama surgió la iniciativa de adaptar un sistema de iluminación natural de manera que se pudiera llevar esta innovación tecnológica a las VIS colombianas. Se investigaron los sistemas de tubos reflectantes y se realizó experimentación con diversas geometrías y medios transmisores. Se llegó a la implementación de un sistema óptico telescópico, el sistema Schmidt-Cassegrain, que incorpora un reflector y un subreflector para redirigir la luz hacia el interior de un conducto. Por medio de este diseño se consiguió reducir en un 30% el diámetro del tubo necesario para transportar luz al interior de las casas. El sistema se validó a través de pruebas con modelos a escala 1:1, y con base a esto se realizaron estimaciones y proyecciones de su potencial de ahorro. El dispositivo propuesto consigue un ahorro de un 43% del consumo energético.

* Proyecto de grado

[†] Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Diseño Industrial

Director: Luis Eduardo Bautista Rojas

ABSTRACT

^{*}
Título : Illumination device to reduce energy consumption generated on the illumination of social dwellings. Design and construction.

Author [†]: Diana Marcela Castro Márquez

Keywords: Daylighting device, energy consumption, social dwellings.

There is a high number of products designed to reduce the energy consumption coming from the illumination, from LED lamps, to gravity lights. All these solutions are not enough for people who live in social dwellings, and that is because of its measurement, its costs, or its performances. That is how the aim for this project is born, to bring technological innovation on to the Colombian social dwellings. The investigation covered the tubular daylighting devices, and then some experimentation with geometries and different conductors was made. With this experimental process some statements and conclusions led to the concepts generation, those concepts were tested in CAD software (VRay plugin for 3d max) and also by experts in terms of renewable energies and user centered design. Finally, the design team decided to implement a telescopic optical system, more exactly, the Schmidt-Cassegrain system, which uses a reflector and a subreflector to redirect light on to a duct. With this design, a 30% of reduction on the duct diameter was obtained. The system was probed with a 1:1 scale model, and with the results it was possible to make saving potential estimations and projections. The designed device gets a 43% reduction on the energy consumption.

* Degree project

[†] Physical-Mechanical Faculty; Industrial Design School

Director: Luis Eduardo Bautista Rojas

INTRODUCCIÓN

La reducción del consumo energético es una preocupación general en la actualidad. Esto se debe a la importancia de la utilización responsable de los recursos naturales. Además, una reducción en el consumo energético representa una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero con lo cual se igualmente se reduce el calentamiento global

La implementación de tecnologías en auge, como lo son los sistemas de iluminación natural, que por lo general se encuentran fuera del alcance económico de los sectores con menores ingresos, representa un avance en la inclusión social. Es una iniciativa que busca mejorar la calidad de vida de las familias, no solo porque una reducción en el consumo energético es igual a un ahorro en sus facturas de servicios públicos, sino porque la utilización de luz natural representa numerosos beneficios para la salud de los seres humanos.

Este proyecto se diseña para dos condiciones extremas. En primer lugar porque se diseña para un sector marginado de la población en términos de innovación tecnológica. Por otra parte, se cuenta con recursos económicos limitados, teniendo en cuenta que para la ejecución de proyectos de VIS, se busca ahorrar al máximo. El desarrollo de productos de cualquier tipo, para escenarios con condiciones extremas conlleva a hallazgos representativos que posteriormente son aplicables al consumo masivo.

1. ORIGEN DEL PROYECTO

La implementación de tecnologías en auge, como los sistemas de iluminación natural, que por lo general se encuentran fuera del alcance económico de los sectores con menores ingresos, representa un avance en la inclusión social. Es una iniciativa que busca mejorar la calidad de vida de las familias, no solo porque una reducción en el consumo energético equivale a un ahorro en sus facturas de servicios públicos, sino porque la utilización de luz natural representa numerosos beneficios para la salud de los seres humanos.

La reducción en el consumo energético proveniente de fuentes no renovables representa una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero con lo cual se reducen efectos negativos como el calentamiento global. Esta es una preocupación general de los gobiernos, los cuales hacen esfuerzos para la utilización responsable de los recursos naturales.

Este proyecto se diseña para dos condiciones extremas. En primer lugar se diseña para un sector de la población marginado en términos de innovación tecnológica. Por otra parte, se cuenta con recursos económicos limitados, teniendo en cuenta que para la ejecución de proyectos de VIS, se busca ahorrar al máximo. El desarrollo de productos de cualquier tipo, para escenarios con condiciones extremas conlleva a hallazgos representativos que posteriormente son aplicables al consumo masivo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Diseñar y construir un elemento de iluminación para reducir el consumo energético que se genera en las viviendas de interés social (VIS).

2.2. Objetivos específicos

- Analizar los sistemas ópticos de iluminación natural para determinar el más apto para las VIS.
- Diseñar un elemento de iluminación que aproveche la luz natural, orientado a reducir el consumo energético de la VIS.
- Construir un modelo funcional de la propuesta de diseño.
- Realizar una estimación de la reducción del consumo energético que alcance la propuesta.

3. ETAPA 1: INDAGACIÓN

3.1. Contextualización

3.1.1. Viviendas de interés social

El Gobierno Nacional de Colombia contempla dentro de su Constitución Política, el derecho a vivienda como un derecho fundamental. Por lo tanto, debe velar por su cumplimiento, y para ello en 1991 nacen en Colombia las Viviendas de Interés Social (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia, 2006). Las VIS son edificaciones que se desarrollan bajo la planeación del Ministerio de Vivienda, o la entidad que el mismo designe para dicho fin; el objetivo de estas construcciones es dar solución al déficit habitacional de los hogares en extrema pobreza.

De conformidad con lo establecido en la Ley 388/97 (Ordenamiento territorial) Art. 91, “se entiende por viviendas de interés social aquellas que se desarrollen para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos”. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia, 2006). En la actualidad, el Ministerio de Vivienda las clasifica de la siguiente forma:

- Vivienda de Interés Social (VIS): Es aquella que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 SMLM).
- Vivienda de Interés Social Prioritaria(VIP): Es aquella vivienda de interés social cuyo valor máximo es de setenta salarios mínimos legales mensuales vigentes (70 SMLM).

Las VIS deben cumplir con los parámetros de calidad de una vivienda digna y adecuada, los cuales se encuentran en el folleto #21: El derecho humano a una vivienda adecuada, de la Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos de la ONU. (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2011). Según dicho folleto, “una vivienda adecuada debe garantizar más que cuatro paredes y un techo”, más allá de eso, debe satisfacer los siguientes criterios:

- Seguridad de la tenencia: sus ocupantes están protegidos contra desalojos forzosos y otras amenazas.
- Disponibilidad de servicios, materiales, instalaciones e infraestructura

- Asequibilidad: su costo es adecuado y no pone en peligro ni dificulta el acceso a otros derechos humanos por sus ocupantes.
- Habitabilidad: garantiza espacio suficiente, seguridad física, protección contra las condiciones ambientales, y otros riesgos para la salud y peligros estructurales.
- Accesibilidad: toma en cuenta las necesidades específicas de los grupos desfavorecidos y marginados.
- Ubicación: ofrece oportunidades de empleo, servicios de salud, escuelas, guarderías, y otros servicios e instalaciones sociales. Se ubica en una zona no peligrosa y no contaminada.
- Adecuación cultural: respeta la expresión de la identidad cultural de sus ocupantes.

3.1.1.1. Tipificación

En Colombia se construyen varios tipos de VIS, de acuerdo a las condiciones particulares de clima, suelo y ubicación. Según la cantidad de familias albergadas en determinada construcción, las viviendas pueden ser: unifamiliares, bifamiliares o multifamiliares.

Las viviendas unifamiliares, como su nombre lo dice, son aquellas que son habitadas por un único conjunto familiar. Adicionalmente se pueden dividir entre unifamiliares normales y progresivas. Éstas últimas se caracterizan por contar con una estructura que facilita a sus propietarios realizar reformas para ampliar el área construida, manteniendo una homogeneidad con las viviendas vecinas.

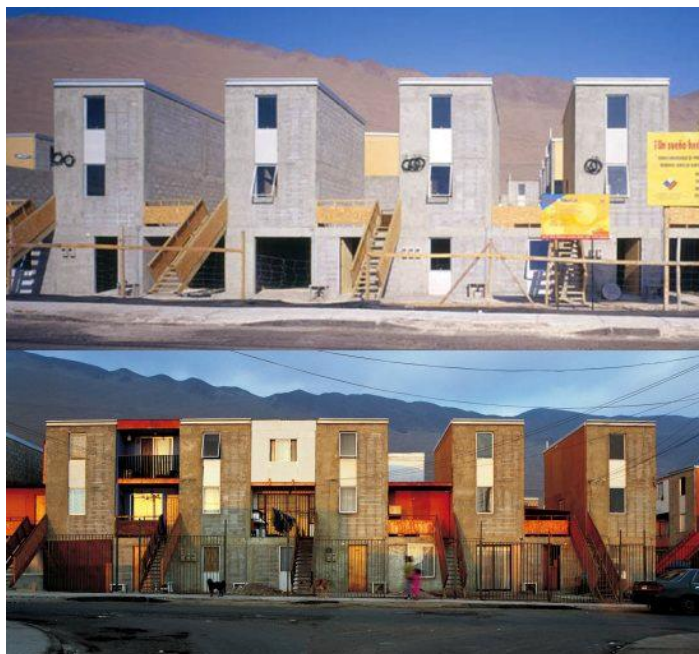


Ilustración 1. Vivienda progresiva en Chile (proceso evolutivo). (Guerton, 2013)

Las viviendas multifamiliares son una agrupación de viviendas multifamiliares en un solo terreno, ya sea en una sola planta o en varios pisos, en bloque o en torre. Este tipo de construcciones cuenta con espacios comunes, como circulaciones, jardines y otros servicios.



Ilustración 2. Unités d'habitation, viviendas multifamiliares en Berlín. (Zeballos, 2014)

3.1.1.2. Estado actual

En Colombia, desde el nacimiento de las VIS, se han ejecutado proyectos a lo largo y ancho del territorio nacional. Todo ello gracias a la política de descentralización del Gobierno Nacional. Actualmente existe un proyecto presidencial que planea la construcción de 100 mil viviendas gratuitas (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012).

De este proyecto se sabe que hasta el 18 de marzo del 2013, en los departamentos de Valle del Cauca, Quindío y Antioquia, se habían entregado las primeras 500 unidades de vivienda (Colombia, 2013). Lo importante de estos proyectos, es que gracias a la gestión de los organismos gubernamentales, se han conseguido áreas de más de 56 metros cuadrados, ampliables hasta los 80 y 90 metros, lo que representa unas dimensiones nunca antes vistas en viviendas prioritarias.

En la ciudad de Bucaramanga la entidad encargada de la construcción de VIS y VIP, es el INVISBU. De acuerdo con lo registrado en el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Bucaramanga en el año 2000, en el

municipio no se hallan terrenos disponibles para la construcción de vivienda unifamiliar y multifamiliar, por lo tanto se esta llevando a cabo la reutilización de casas antiguas, las cuales son demolidas para dar paso a construcciones multifamiliares.

Sin embargo, en el área metropolitana, en el municipio de Piedecuesta, se encuentra proyectado un complejo habitacional que contará con alrededor de 10.000 soluciones de vivienda. Dicho proyecto será realizado por etapas, integrando tanto viviendas unifamiliares, como multifamiliares (Alcaldía de Piedecuesta, 2012).

3.1.1.3. Vivienda tipo

Para realizar una óptima adecuación del dispositivo de iluminación a las VIS, se seleccionó un modelo de vivienda de entre los documentos proporcionados por el INVISBU (ver anexo A). Para ello se tuvo en cuenta tanto la entrevista realizada con la arquitecta encargada de los nuevos proyectos a ejecutarse en por el Instituto, como una visita realizada a las casas. Mediante visita de campo a las zonas donde actualmente se encuentran las VIS, se selecciono el tipo de vivienda de mayor producción.



Ilustración 3. Estado actual de iluminación en las VIS. Fuente: Autora



Ilustración 4. Estado actual de iluminación en las VIS. Fuente: Autora



Ilustración 5. Fachada principal vivienda tipo Villas de San Ignacio Etapa 13. Fuente: INVISBU

3.1.2. Iluminación natural

La luz natural es un recurso que está de alcance inmediato para el hombre (ECBCS , 2010), y el cual probablemente seguirá presente en el futuro. Como fuente de luz, se caracteriza por su espectro cambiante y distribución (IESNA, Illumination Engineering Society of North America, 2000).

La iluminación natural es el proceso de iluminar interiores utilizando la luz natural proveniente del sol. Es un concepto que ha estado presente desde que los primeros humanos abrían orificios en sus refugios para permitir que los rayos del sol ingresaran. Hoy día además de ventanas, patios, claraboyas, celosías, membranas, existen los llamados “sistemas de tubos reflectantes”, estos sistemas utilizan un domo en el techo de las edificaciones para capturar luz y transportarla a los interiores.

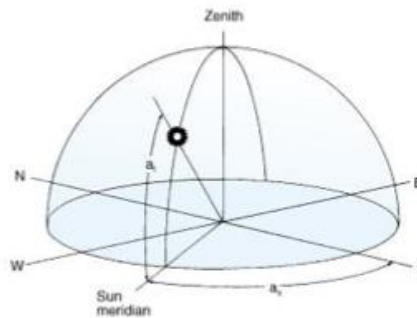


Ilustración 6. Posición del sol en términos de altitud solar, y azimut, respecto a los puntos cardinales. (IESNA, Illumination Engineering Society of North America, 2000)

3.1.2.1. Fuentes de luz natural

El 40% de la energía proveniente del sol es radiación visible, el resto corresponde a rayos ultravioleta e infrarrojos (IESNA, Illumination Engineering Society of North America, 2000). Una vez llegan a la tierra y son absorbidas, todas las radiaciones solares se convierten en calor.

La cantidad y dirección de la luz natural son fácilmente predecibles, gracias al rastreo de los movimientos de rotación y traslación de la tierra con respecto al sol. Sin embargo, factores como el clima, la temperatura y la polución, adicionan nuevas variables al cálculo de la disponibilidad de la luz natural.

3.1.2.1.1. El Sol como fuente de luz

A pesar de ser que es la tierra quien se mueve constantemente alrededor del sol, los humanos perciben lo contrario, un aparente movimiento del sol respecto a la superficie terrestre. La posición del sol respecto a cualquier punto del globo terráqueo es expresada en términos de dos ángulos: altitud solar, que es el ángulo del sol sobre el horizonte, y azimut solar, que es el

ángulo formado entre la dirección de referencia (norte) y una línea entre el observador y un punto de interés previsto en el mismo plano que la dirección de referencia. (IESNA, Illumination Engineering Society of North America, 2000)

3.1.2.1.2. El cielo como fuente de luz

Una vez la luz del sol atraviesa la atmósfera, una parte de ella se ve dispersada en el polvo, el vapor de agua y otras partículas en suspensión. Esta dispersión, actuando de manera concertada con las nubes, es lo que produce la luminancia del cielo (IESNA, Illumination Engineering Society of North America, 2000). Existen tres tipos de cielo, despejado, parcialmente



nublado y nublado. Cuando el cielo no está del todo nublado, la distribución

Ilustración 9. Cielo Parcialmente nublado. (Weatherbug, 2014)



de luminancia del cielo varía rápidamente, teniendo el sol oculto y de

Ilustración 8. Cielo cubierto. (Hearst Newspaper)

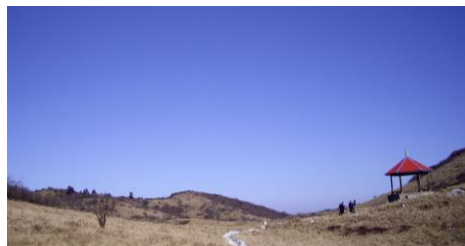


Ilustración 7. Cielo despejado. (Total Wallpapers, 2014)

inmediato descubierto.

3.1.2.1.3. El suelo como fuente de luz

La luz que se refleja desde el suelo es importante en el diseño de iluminación natural. Dicha luz es reflejada desde el techo, las paredes, y otras superficies interiores. En habitaciones iluminadas con luz natural, la luz del suelo representa entre un 10 – 15% de la iluminancia total (IESNA, Illumination Engeneering Society of North America, 2000), aunque este porcentaje puede variar de acuerdo al diseño del edificio, los materiales de construcción y las condiciones del cielo.

3.1.2.2. Disponibilidad de la luz natural

La cantidad de luz proveniente del sol y el cielo para un lugar, tiempo, fecha y condiciones de cielo, es lo que se conoce como “disponibilidad de luz natural”. Los cálculos de iluminación para iluminación natural, a diferencia de los cálculos para iluminación eléctrica, toman en cuenta más variables. Para determinar la luz incidente en una ventana o claraboya, se utilizan las características variables del cielo y el sol, incluyendo la distancia cambiante entre el sol y la edificación. (IESNA, Illumination Engeneering Society of North America, 2000).

Las variables que según la Sociedad Norteamericana de Ingeniería de Iluminación, se utilizan para calcular la disponibilidad de luz natural son:

- **Locación:** Dada en altitud y longitud
- **Tiempo:** Corresponde al tiempo estándar (dado por un reloj de 24h), corregido con la longitud de la locación.
- **Posición solar:** Es determinada por la altitud solar y el acimut.
- **Luz solar:** Es el total de la iluminancia en incidencia normal sobre una superficie libre en una distancia media entre el sol y la tierra.
- **Luz del cielo:** Es el valor asignado a cada tipo de cielo.

3.1.2.3. Efectos

La preferencia de los usuarios por el uso de la iluminación natural nace del positivo efecto que tiene en la vida de los seres humanos, porque a pesar de que es una práctica que consigue crear ambientes agradables y reducir el consumo de energía eléctrica (Dirección General e Industria, Energía y Minas, 2006), sus costos de implementación tienden a ser más costosos con respecto a los otras alternativas (M.S. Mayhoub, 2011).

3.1.2.3.1. En el hombre

La luz natural es capaz de conseguir altas iluminancias en las habitaciones, así como una composición espectral que se traduce en una favorable percepción de color. (M.S. Mayhoub, 2011). Adicionalmente, la presencia de luz natural reduce la probabilidad de sufrir problemas de salud relacionados con la depresión, como desordenes alimenticios, de sueño y aislamiento social; todo esto gracias a que favorece la regulación del “reloj biológico” (Parsons School of Design, 1999).

En contraste a los efectos positivos, se hallan los efectos negativos, tales como los incómodos deslumbramientos producidos por las altas iluminancias. Afortunadamente, este efecto puede ser contrarrestado con el uso de elementos difusores de luz. (IESNA, Illumination Engineering Society of North America, 2000)

3.1.2.3.2. En los edificios

La iluminación natural es un factor a tener en cuenta en el diseño y selección de materiales y accesorios para el interior de los edificios. Esto se debe a que las radiaciones solares, en todas sus longitudes de onda, tienen efectos sobre algunos materiales, siendo el caso de la pérdida y desvanecimiento de los colores. (IESNA, Illumination Engineering Society of North America, 2000)

3.1.2.3.3. En la economía

Teniendo en cuenta que la luz natural utilizada en las edificaciones, reemplaza y complementa la luz de los sistemas eléctricos, el ahorro se da en dos aspectos. En primer lugar, porque reduce el consumo de energía eléctrica, y en segundo lugar, porque alarga la vida útil de los sistemas de luz eléctrica y disminuye los costos de mantenimiento de los sistemas de iluminación artificial. (M.S. Mayhoub, 2011)

3.2. Productos existentes

Iluminar naturalmente el interior de edificaciones es posible gracias a las propiedades de reflexión y refracción de la luz, se puede hacer a través de ventanas, celosías, paneles prismáticos, claraboyas o tubos de luz. Se consultó el mercado, tanto empresas fabricantes de sistemas de iluminación natural, como proyectos particulares desarrollados por arquitectos, ingenieros y diseñadores en diferentes partes del mundo, esto a través de una revisión bibliográfica en bancos de datos. De esta manera se obtuvo un panorama bastante amplio en lo referente a la iluminación natural.

3.2.1. “Litro de luz”

Las “botellas de luz”, “lámparas Moser” ó “litro de luz”, es un invento que nació en 2002 gracias al mecánico brasileño Alfredo Moser, como respuesta a los constantes apagones que sucedían en Brasil. Moser ideó una botella que llenándole de agua y adicionándole blanqueador (para evitar la propagación de microorganismos), se coloca en el techo de las viviendas y es capaz de iluminar igual que un bombillo de 40-60 watts (dependiendo de la luz en el exterior) (My Shelter Foundation, 2014).

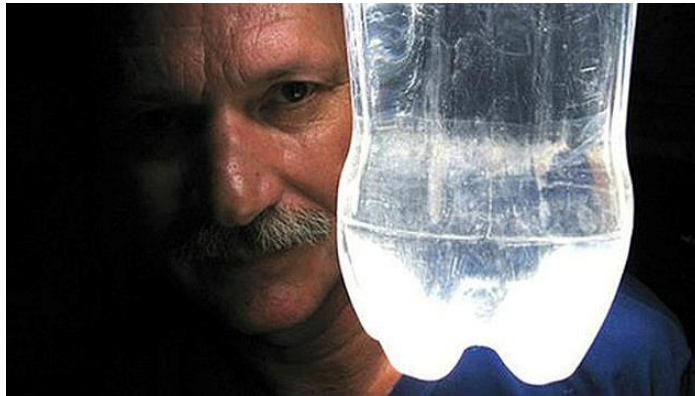


Ilustración 10. Litro de luz. (Castillo, 2014)

Años más tarde, en abril del 2011, la fundación MyShelter en Filipinas, empezó a utilizarse la tecnología a gran escala, y hasta el momento han conseguido iluminar 28000 viviendas y mejorar la vida de aproximadamente 70000 personas. Hoy en día existen más de 200000 botellas de luz en más de 30 países alrededor del mundo. (MyShelter Foundation, 2014)

Hoy en día el movimiento ha ido expandiéndose alrededor del mundo, habiendo así organizaciones que trabajan para llevar los “litros de luz” a viviendas en situaciones de riesgo en más de 30 países, entre ellos Argentina, Bangladesh, Brasil, Colombia, Egipto, India, Kenia, México, Perú, España, Suiza, Tanzania, Uganda, Estados Unidos y Zambia.

La botella de luz es una tecnología que utilizando los recursos materiales e intelectuales al alcance de comunidades marginadas, permite suplir la carencia de iluminación que. En este caso se trata de botellas reutilizadas, agua y luz solar. Las botellas llenas de agua son el medio a través del cual la luz solar se refracta e ingresa a la vivienda. A través de su viaje alrededor del mundo, el diseño de la botella de luz ha evolucionado para facilitar tanto su producción como su instalación. Para fabricarlas se utiliza una pieza de 10”x10” de hoja de acero galvanizada, una botella de plástico de 2 lt, remaches, sellador de goma y herramientas de trabajo.

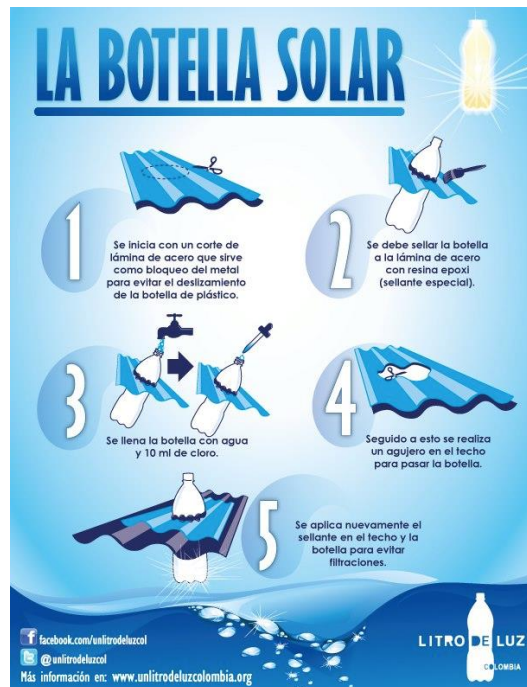


Ilustración 11. Proceso de fabricación de Litro de Luz. (Litro de luz Colombia, 2014)

La botella de plástico se inserta en la hoja de acero que previamente se ha perforado, dejando 1/3 de botella aproximadamente en la parte superior (la que quedará hacia el exterior de la casa), finalmente se fija en ambas caras de la hoja con el sellador de goma. En ese punto se tienen listos para su instalación en las viviendas, lo que sigue es realizar una perforación en el tejado con el diámetro de la botella, colocar la lámpara, fijarla con remaches en las esquinas y sellador de goma sobre el borde.

Teniendo en cuenta que las botellas de luz son utilizadas en viviendas a las que generalmente no llega la red eléctrica, la organización “Liter of Light” también ha trabajado para desarrollar un modelo de lámpara que sea capaz de proveer luz durante las noches utilizando energía solar. Se fabrica con un panel solar de 5 watts-18volts, una batería de 12 volts resistencias, una tarjeta pcb, reguladores de voltaje, resistencias, capacitores, cable conductor y un LED a prueba de agua. El panel solar recoge la energía solar durante el día y la almacena en la batería, luego a medida va anocheciendo y la luz solar va perdiendo su intensidad, el LED empieza a encenderse y su luz se refracta en la botella iluminando la vivienda.

Entre las múltiples ventajas de esta tecnología, se encuentran su facilidad de uso, su nula emisión de gases nocivos, y su costo, que es prácticamente \$0, ya que se reutilizan botellas plásticas y el agua y el cloro son insumos de fácil acceso. En contraste, cuenta con algunas desventajas, como la

imposibilidad de apagar la bombilla y el hecho de que solo alcanzan las habitaciones que dan directamente con el techo de la vivienda.

3.2.2. Sistemas de tubos reflectantes

Los tubos de luz se utilizan cuando la configuración formal del edificio impide que la luz llegue a algunas habitaciones ya sea porque están alejados de la envolvente¹ del edificio, por vegetación en los alrededores o por razones de confort térmico. Existen numerosas patentes en este campo, pero la mayoría de los dispositivos funciona siguiendo el mismo patrón. Dividen el funcionamiento del dispositivo en recolección, conducción y difusión.



Ilustración 12. Partes de un sistema de tubos reflectantes. (Solatube International, Inc., 2013)

¹ **Envoltente** es el nombre con el que se conoce en arquitectura a la separación entre el interior y el entorno exterior de un edificio. Además, esta es utilizada para proteger el interior así como para facilitar su control climático.(ARQHYS Arquitectura, 2014)

3.2.2.1. Recolector



Ilustración 13. Domo de cristal. (Lightway s.r.o., 2014)

El viaje de la luz hacia el interior de los edificios inicia en la envolvente, ya sea en la parte superior o en un costado. Esta función es ejecutada por el recolector, un elemento fabricado con una geometría y un material que permiten que a través de la propiedad de refracción de la luz, cambie la dirección de propagación de los rayos solares enviándolos hacia el conductor, donde continua su viaje hacia el interior de la edificación.

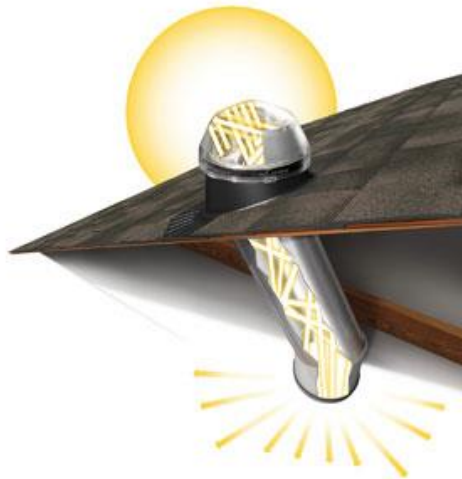


Ilustración 14. La imagen ilustra el viaje de los rayos de luz a través del sistema de iluminación natural (Solatube International, Inc., 2013)

Los recolectores pasivos, son los que han venido utilizándose desde que nació la tecnología de los tubos de luz. Permiten la refracción de los rayos solares durante todo el día sin tener que variar su ubicación gracias a que se instalan apuntando hacia el sur y su forma geométrica. Algunos, como los de la compañía Espacio Solar (España) (ESPACIO SOLAR S.L., 2011), cuentan con una celosía reflectante que permite multiplicar la cantidad de luz que se recolecta.

Los recolectores activos, varían su posición de acuerdo a la proveniencia de los rayos solares guiados ya sea por un rastreador o por un temporizador pre programado. Estos dispositivos tienen un desempeño más alto que los recolectores pasivos porque al moverse en dirección hacia los rayos, garantizan que más luz conseguirá entrar al edificio. Su desventaja es el costo de los sistemas de rastreo. Generalmente se recomiendan para ambientes comerciales y oficinas, donde se requiere que la iluminación sea constante todo el día.



Ilustración 15. Sistemas de rastreo de luz Parans. (InfinityLimited, 2014)

3.2.2.2. Conductor



Ilustración 16. Tubo de luz. (Lightway s.r.o., 2014)

Luego de que la luz se refracta en el recolector, se refleja en varios puntos del conducto según el ángulo de incidencia y la forma del mismo, para llegar al difusor. Los conductores son tuberías cilíndricas o prismáticas, rectas o cónicas, están fabricados en aleaciones metálicas y cuentan con un recubrimiento interior cuyo índice de reflexión es superior al 95% (David Jenkins T. M., 2005).

Los conductores varían según la aplicación o proyecto particular. La mayoría de los grandes fabricantes producen conductos cilíndricos rectos ya que esta geometría es eficiente en términos de producción e instalación. Estos tubos van desde los 0,5m (distancia entre techo y cielo raso) hasta los 21m (Tubo de luz en Potsdamer Platz, Berlín (HelioBus, 2014)), y tienen diámetros que

van desde los 0,3m hasta 1m. La longitud depende de la distancia que exista entre el punto donde se instale el recolector hasta la habitación que se va a iluminar, mientras que el diámetro depende de la cantidad de luz que se requiera.



Ilustración 17. Tubo de luz en Postdamer Platz, Berlín, Alemania. (HelioBus, 2014)

Otro tipo de conductos son los flexibles, los cuales se utilizan cuando en la instalación se debe evitar algún tipo de obstáculo estructural. Por lo general se fabrican en poliéster metalizado con metal de alambre. Esta clase de conductos requiere de un diámetro mayor que los rígidos para conseguir la cantidad de luz necesaria para iluminar, debido a que los múltiples quiebres producto del alambre estructural representan pérdidas en la cantidad de luz reflejada.



Ilustración 18. Tubo de luz flexible. (The Home Depot, 2014)

Finalmente el tipo de conducto más reciente que existe es el que lleva en su interior filamentos de fibra óptica. Cuando se utiliza la fibra óptica como medio conductor se obtienen numerosos beneficios. Entre ellos se hallan una mayor efectividad en la transmisión de la luz, el beneficio en cuanto al volumen necesario para la tubería y el confort térmico, ya que la fibra óptica conduce la radiación lumínica más no la calórica. Gracias a las propiedades ópticas de la fibra de vidrio, se hace innecesario que la luz se refleje dentro

del tubo, por lo tanto se pueden manejar diámetros que no sobrepasan los 10mm y longitudes de hasta 20m. Para usar filamentos de fibra óptica como conductores, es indispensable contar con un receptor que rastree la posición del sol.

3.2.2.3. Difusor

Los difusores son el último lugar que atraviesan los rayos solares antes de llegar a la habitación. Esta parte de los dispositivos varía según la aplicación, según las preferencias del cliente, y su tecnología es sencilla: se comportan igual que los difusores de cualquier tipo de luminaria. Cuentan con sistemas de interrupción para que el usuario pueda controlar la luz que se obtiene en la habitación.



Ilustración 19. Difusor. (Lightway s.r.o., 2014)

3.2.2.4. Estado del mercado

A continuación se presenta a manera de cuadro, la relación de los productos más populares en materia de sistemas de tubos reflectantes. La información acerca de las empresas, al igual que las imágenes de los productos, fueron obtenidas de la página oficial.

Solatube, una empresa australiana, es pionera en el mercado, y es propietaria de, entre muchas, la primera patente de tubos de luz registrada en 1986. Ha continuado investigando y generando avances tecnológicos, entre los que se encuentran los sistemas modulares, de ventilación e inteligentes.



Velux, originaria de Dinamarca, nació hace más de 60 años instalando claraboyas, se ha caracterizado por buscar desarrollar innovación en el diseño de sus proyectos. Dentro de sus productos se encuentran ventanas, sistemas de tubos reflectantes y obviamente, claraboyas.




Espacio Solar, originaria de España, hace parte de la firma GECSA INGENIERIA Y OBRAS S.A., y trabaja tanto desarrollando y comercializando sus productos, como ejecutando proyectos de iluminación adaptados a espacios educativos, comerciales e industriales.



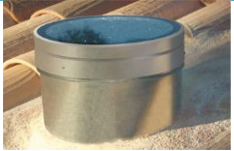
Columbia Skylight, basada en Canadá, nació en 1955 como una empresa dedicada a la fabricación de claraboyas. Actualmente tiene el primer lugar en ventas en su país.



Fakro, es una empresa Polaca, formada por socios de diferentes nacionalidades, que nació en 1991 produciendo ventanas para tejados, pero que ha ampliado su oferta creciendo para estar presente en 14 países.



Tabla 1. Estado del mercado. Fuente: Autora

Fabricante	Producto	Imagen	Descripción	Especificaciones Técnicas
Solatube http://www.solatube.com/	160DS		<p>El Solatube 160 DS esta diseñado para iluminar espacios de hasta 200 ft². Es el indicado para áreas pequeñas y medianas como baños, cuartos de ropas, armarios y pasillos. Se puede usar más de uno para habitaciones más grandes.</p>	<p>Dimensiones del tubo ≈ 10 in (250mm). Área de cobertura ≈ 150-200ft² (14-19m²). Longitud potencial del tubo ≈ 20ft (6m).</p>
	290DS		<p>Para áreas como cocinas, salas familiares y dormitorios, el Solatube 290 DS es el apropiado. Entrega luz solar a espacios de hasta 300 ft².</p>	<p>Dimensiones del tubo ≈ 14 in (350mm). Área de cobertura ≈ 250-300ft² (23-28m²). Longitud potencial del tubo ≈ 30ft (9m).</p>

	<p>Smart LED Primary Unit</p>		<p>Los LEDs y la iluminación natural se unen para obtener una iluminación eficiente en los hogares. Esta diseñado para iluminar espacios de hasta 250 ft², el Smart LED System trabaja mejor en espacios pequeños o medianos. Se puede usar varios de ellos para efectos dramáticos en grandes áreas.</p>	<p>Dimensiones del tubo ≈ 14 in (250mm). Área de cobertura ≈ 250ft² (23m²). Longitud potencial del tubo ≈ 20ft (6m).</p>
	<p>Smart LED Secondary Unit</p>		<p>El Smart LED Secondary System es opcional y permite sincronizar la iluminación en habitaciones y pasillos grandes. Usa un diseño "link and light", que permite conectarse al sistema primario sin la necesidad de conexión eléctrica. Permite ahorrar tiempo y dinero y brinda dos luces que operan simultáneamente.</p>	<p>Dimensiones del tubo ≈ 14 in (250mm). Área de cobertura ≈ 250ft² (23m²). Longitud potencial del tubo ≈ 20ft (6m).</p>
<p>Velux http://www.velux.co.uk/</p>	<p>Rigid Sun Tunnel (TWR/TLR)</p>		<p>Velux además de ser una solución para llevar luz a algunas habitaciones, también hace fácil la instalación sin importar el tipo de techo de la casa.</p>	<p>Diámetro del túnel rígido 35 ó 25cm. Cobertura interior súper reflectante (98%). Recolector en vidrio templado de 4mm con autolimpieza.</p>

	<p>Flexible Sun Tunnel (TWF/TLF)</p>		<p>Velux además de ser una solución para llevar luz a algunas habitaciones, también hace fácil la instalación sin importar el tipo de techo de la casa.</p>	<p>Túnel flexible. Diámetro del tubo =35cm. Longitud del tubo=2m. Recolector en virio templado de 4mm con autolimpieza.</p>
	<p>Flat Roof Sun Tunnel (TCF)</p>		<p>Es ideal para llevar luz natural a áreas de la casa donde no es posible o no es apropiado instalar una claraboya.</p>	<p>Túnel flexible. Diámetro del túnel 14in. Longitud del túnel 1,1m. PVC con cobertura en policarbonato.</p>
<p>Espacio Solar http://www.espaciosolar.com/</p>	<p>DSC 300 GTR</p>		<p>GLASS-TOP redonda se utiliza en cubiertas planas o industriales, en naves industriales y zonas de paso. Su geometría permite una fácil orientación al sur de la celosía reflectante.</p>	<p>Diámetro del conducto reflectante = 300mm. Longitud máxima recomendada = 7m. Iluminación máxima equivalente en "bombillas de incandescencia" 390 W. Superficie aproximada del espacio a iluminar = 15 m².</p>

	<p>DSC 300 FTR</p>		<p>Las FTR son cúpulas transitables enrasadas al pavimento garantizando la estanqueidad gracias al diseño especial de su zócalo. Se usan para iluminar zonas bajo terrazas, aceras, jardines...</p>	<p>Diámetro del conducto reflectante = 300mm. Longitud máxima recomendada = 7m. Iluminación máxima equivalente en "bombillas de incandescencia" 390 W. Superficie aproximada del espacio a iluminar = 15 m².</p>
<p>Monodraught http://www.monodraught.com/</p>	<p>Sunpipe (230,300,450)</p>		<p>Los sistemas SUNPIPE recolecta la luz con un domo en forma de diamante y la llevan al interior de la vivienda a través de un ducto con acabado PVD silverizado. Las SUNPIPES se han usado en aplicaciones que van desde edificios hasta escenarios olímpicos.</p>	<p>Domo en policarbonato 4mm con filtro UV. Ducto súper reflectante en aluminio. Difusor en ABS, Acero galvanizado. (el número de referencia indica el diámetro del ducto). Área iluminada 7,5m², 14m², 22m².</p>

<p>Solarspot http://www.solarspot.org/</p>	<p>Solarspot D-25</p>		<p>El sistema Solarspot permite ser instalado entre las vigas más cercanas del techo o cielo raso y transmite de manera extraordinaria la luz natural. 10 veces más que un sistema con ducto flexible.</p>	<p>Diámetro 250mm. Longitud máxima aconsejada 8m. Cobertura hasta 15m². Lúmen máx. 1,8m 4800. Adecuado para todos los techos</p>
	<p>Solarspot D-38</p>		<p>El sistema Solarspot permite ser instalado entre las vigas más cercanas del techo o cielo raso y transmite de manera extraordinaria la luz natural. 10 veces más que un sistema con ducto flexible.</p>	<p>Diámetro 375mm. Longitud máxima aconsejada 11m. Cobertura 25m². Lúmen máx. 1,8m 10,200. Adecuado para todos los techos.</p>
<p>Columbia Skylights http://www.columbiaskylights.com/</p>	<p>Rigid Sun Tube (RST)</p>		<p>El sistema de tubo rígido solar de Columbia disminuye la cantidad de quiebres para que igualmente disminuya la pérdida de luz dentro del conducto.</p>	<p>Los tubos rígidos vienen en diámetros de 10", 13" y 18". Longitud máxima del conducto es 12ft, 13ft y 14ft respectivamente. El domo está fabricado en acrílico con filtro UV. El conducto es en aluminio con recubrimiento en plata y su reflectividad es de 95%. Los difusores</p>

pueden ser
prismáticos o
blanco.

Fakro
<http://www.fakro.es/>

Lucerna SLT



El uso de cúpulas de
lucernas en los tejados
permite iluminar las
viviendas permitiendo
ahorrar electricidad.

Tubo flexible.
Diámetro del tubo
350mm ó 550mm.
Superficie
iluminada 7m² ó
16m²
respectivamente.
Longitud máxima
del tubo 2,1 m.



Diámetro del tubo
250mm ó 350mm.
Superficie
iluminada 8m² ó
12m²
respectivamente.
Longitud máxima
del tubo 61cm.

3.3. Usuarios

Las personas que van a interactuar con el producto se dividen en dos grupos, los primeros son los quienes lo manipularán a diario porque estará instalado en sus viviendas. Los segundos son aquellos encargados de instalar los dispositivos en las viviendas. El perfil que se presenta a continuación se basa en los perfiles presentados en el trabajo de investigación titulado Hábitos de consumo de las familias en Bucaramanga en diferentes estratos (Romero, 2013).

3.3.1. Usuarios primarios

Habitantes de las viviendas de interés social: Familias de cuatro integrantes, donde los padres están entre los 30 – 50 años y sus estudios no sobrepasan la media secundaria. Mientras que los padres provienen de otros pueblos de Santander y otras regiones del país, los hijos nacen en este departamento. Los ingresos del hogar son en promedio de tres salarios mínimos mensuales.

3.3.1.1. Entrevista a usuarios primarios

Para llevar a cabo esta fase del proyecto, se realizaron entrevistas semiestructuradas. “La entrevista semiestructurada es un método clave para favorecer el diálogo y una relación estrecha con los participantes manteniendo el foco sobre un tema en particular. La estructuración cuidadosa de las preguntas del cuestionario sirve para llevar a los participantes a viajar con el pensamiento de lo específico a lo que aspiran para volver a lo concreto.” (IDEO, 2008)

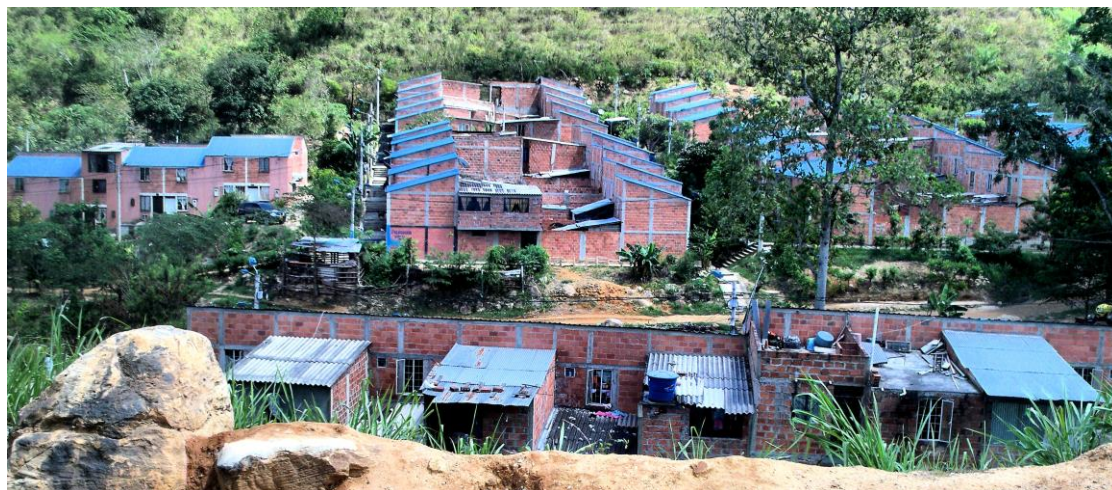


Ilustración 20. Villas de San Ignacio (Betania). Fuente: Autora

Las entrevistas se llevaron a cabo en Betania, al norte de Bucaramanga, donde se localizan más de 10 proyectos de viviendas de interés social,

unifamiliares, unifamiliares progresivas y multifamiliares. Para cubrir la zona, se realizaron entrevistas en tres jornadas, siendo la primera de ellas el piloto, de manera que sirvió para modificar las preguntas que habían sido mal formuladas e impedían el adecuado desempeño de la tarea, la segunda y



Ilustración 21. Ubicación Betania. Fuente: Autora, a través del software GoogleMaps

tercera jornada contaron con el mismo formato de encuesta. Para ver los formatos utilizados en cada una de las jornadas, dirigirse a Anexo A.

Con base a la Guía de IDEO se organizó una entrevista que llevaría al usuario y al entrevistador a través de tres etapas: demográficas, aspiraciones a futuro y preguntas sobre el proyecto. Realizar las preguntas más relevantes al final, permite que en ese momento se haya creado una atmosfera de confianza entrevistado - entrevistador. Se realizaron preguntas cortas, teniendo presente el manejo de un léxico básico que permitiera a los entrevistados comprender fácilmente el tema de consulta y de esta manera generar un ambiente de confianza para que sus respuestas fueran sinceras.

Las etapas a través de las cuales se desarrollaron las entrevistas y sus objetivos específicos son los siguientes:

- **Preguntas demográficas:** Iniciar el acercamiento a las personas, estos datos ya se encuentran en otras bases de datos, pero cuestionar a las personas sobre cosas sencillas como estás ayuda a crear un ambiente de confianza con el encuestador.
- **Aspiraciones a futuro:** Conocer las aspiraciones y deseos y de esa manera encontrar puntos en los cuales el proyecto pueda llegar a satisfacer sus aspiraciones. Estos datos también serán utilizados en la construcción del perfil arquetípico del usuario.
- **Preguntas sobre el proyecto:** Conocer las actividades específicas que las familias realizan en la vivienda para establecer los requisitos de iluminación que debe cumplir el dispositivo. Realizar un primer acercamiento de las personas hacia el proyecto para conocer su aceptación.

3.3.1.1.1. Primera jornada de entrevistas

La primera jornada se realizó en Villas de San Ignacio, la etapa 9 de Betania, un sector conformado por 284 viviendas tipo unifamiliar. Esta etapa fue entregada a sus habitantes en el año 2008, como respuesta del INVISBU a los damnificados de la ola invernal del 2005 en el municipio de Girón. A este lugar se llegó gracias a la señora Aleida Gómez, la secretaria de la Junta de Acción Comunal, a quien se contactó a través del INVISBU.

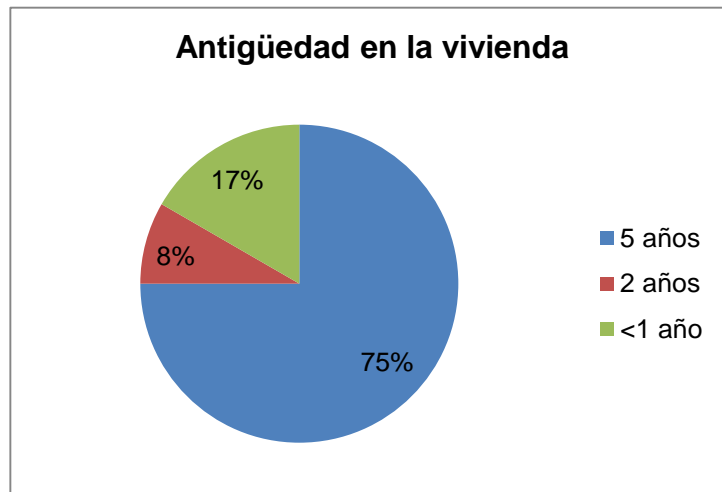


Ilustración 22. Resultados primera jornada de encuestas (antigüedad en las viviendas). Fuente: Autora.

De las familias entrevistadas en la primera jornada, en promedio viven 5 personas por casa, de las cuales un 60% son adultos y el 40% restante, niños. Un 75% de las familias llevan 5 o más años en sus casas, y por

consiguiente se observa como han remodelado sus casa para satisfacer sus necesidades de espacio, iluminación y raramente, de estética (muy pocas casas están pintadas).

Conocer las actividades que realiza, así como la zona y hora del día, ofrece un dato fundamental para el desarrollo del proyecto. Es clave para tomar la decisión sobre el área de la vivienda a la cual se destinará el dispositivo de iluminación y la cantidad de luz que debe proveer. En este caso se encontró que el salón múltiple de la vivienda es el área donde dedican la mayor parte de su tiempo a actividades como cocinar, estudiar y ver televisión, algunos hasta realizan actividades que les representan beneficios económicos, como es el caso de quienes elaboran productos por encargo o de quienes tienen negocios como papelerías, tiendas, peluquerías, etc. Al preguntar acerca de la iluminación requerida para sus tareas, se observó que se inclinaban por la opción “media”, tan solo quienes realizan labores de precisión como por ejemplo coser o bordar, decían requerir de iluminación “alta”. En cuanto a la forma en que iluminaban las viviendas, dicen “acá se usa el bombillo ahorrador, para que el recibo no llegue tan caro”, lo que al igual que la última pregunta de la entrevista, evidencia su preocupación por reducir el consumo energético en las viviendas.

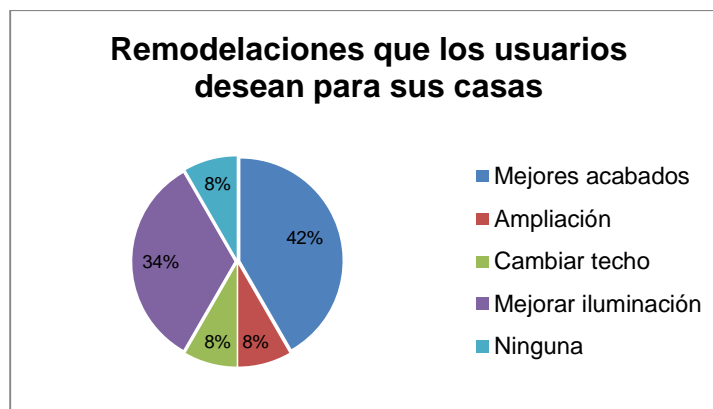


Ilustración 23. Resultados primera jornada de entrevistas (remodelaciones deseadas). Fuente: Autora.

Basta simplemente con un rápido recorrido por una vivienda de interés social para señalar las innumerables mejoras que se les deberían hacer. Quienes viven en ellas sin embargo se limitan obviamente por las razones económicas, por eso lo primero que les gustaría mejorar es la forma como se ve su vivienda, pintarla, colocar pisos, “que quede en obra blanca” que vendría siendo algo así como terminar el trabajo de quienes las construyeron. Hay quienes son un poco más conscientes de que hay otras necesidades además de lo puramente estético (34%) y se van hacia mejorar la iluminación, para ello plantean remodelaciones como ventanas más amplias, claraboyas, en fin, se ingenian soluciones con lo que tienen a su

Ilustración 24. Resultados primera jornada de encuestas (iluminación utilizada). Fuente: Autora.

alcance para evitar el tener que usar luz artificial durante el día en sus viviendas.

3.3.1.1.2. Segunda jornada de entrevistas

La segunda jornada de entrevistas se llevó a cabo en “Altos de Betania” un sector de viviendas multifamiliares proyectado como respuesta a damnificados de la ola invernal del 2005 y desplazados por la violencia. El lote es propiedad del INVISBU y a la fecha han sido construidos por la Fundación Alejandro Galvis y Camacol, 7 bloques con un total de 140 apartamentos. Están pendientes 300 apartamentos más que serán entregados con “carta cheque” a desplazados por la violencia. A esta zona se llegó personalmente y a través de los vecinos, se contactó a la Señora Viviana, quien amablemente presentó al equipo de trabajo en los

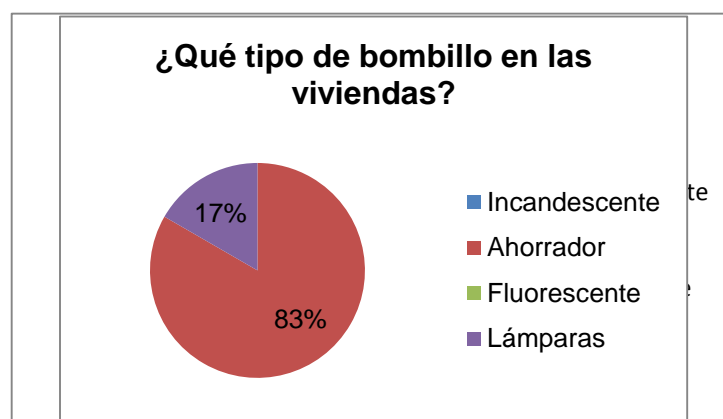


Ilustración 25. Resultados segunda jornada de entrevistas (iluminación utilizada). Fuente: Autora.

apartamentos.

El formato de entrevista se sometió a cambios con base a las observaciones que se hicieron en la primera jornada. Se mantuvieron las preguntas con

respecto al proyecto y a las aspiraciones y deseos de las personas. Se eliminaron datos demográficos ya que la mayoría se hacían innecesarios para el proyecto e incomodaban a los usuarios que no le veían relación alguna con el tema del proyecto.



Ilustración 26. Resultados segunda jornada de entrevistas (iluminación utilizada). Fuente: Autora.

Debido a que los apartamentos donde se realizaron las entrevistas contaban con una excelente iluminación, las preguntas sobre las áreas sin luz no fueron respondidas por ninguno de los usuarios, ya que ellas correspondían a la descripción de las zonas de su casa que no estaban bien iluminadas. La pregunta que se refería a si deseaban tener un objeto para reducir el consumo energético en sus viviendas, también fue inútil en este sector, ya que en Altos de Betania todas los apartamentos tienen instalado un dispositivo prepagado recargable que administra el suministro eléctrico de tomacorrientes, bombillas, etc.

Por otra parte, un 83% de las familias afirmaron utilizar bombillos ahorradores, el 50% de ellos lo hacen por economía. Esto es un ejemplo una vez más del afán de las personas por mantener un reducido consumo de electricidad que se refleje en un menor gasto económico a la hora de pagar por la energía que consumen.

3.3.1.1.3. Tercera jornada de entrevistas

La tercera y última jornada de entrevistas tuvo lugar en la primera fase de la zona Betania, un sector que se conoce como “Villas de San Ignacio etapa 1”. En el sector viven alrededor de 200 familias, al igual que en todos los otros lugares entrevistados, son damnificados de la ola invernal del 2005 y estas viviendas les fueron entregadas en el 2008. Se llegó a este sector sin ningún tipo de contacto, ya que el señor presidente de la Junta de Acción Comunal no vive allí desde hace un par de meses.

Para esta jornada se utilizó el mismo formato de la segunda, a pesar de que las preguntas 5, 6 y 7 en esa jornada no dieron resultados, se tenía la creencia de que en las viviendas unifamiliares si arrojarían datos para el desarrollo del proyecto.

El diseño de las casas de esta etapa es igual al de las casas visitadas durante la primera jornada de entrevistas, y a pesar de que se encuentran a una altura y con una orientación diferente, las condiciones de iluminación son muy similares, se podría decir que idénticas. La cocina, que es el área donde se realiza una de las actividades más importantes durante el día, carece de una adecuada iluminación.

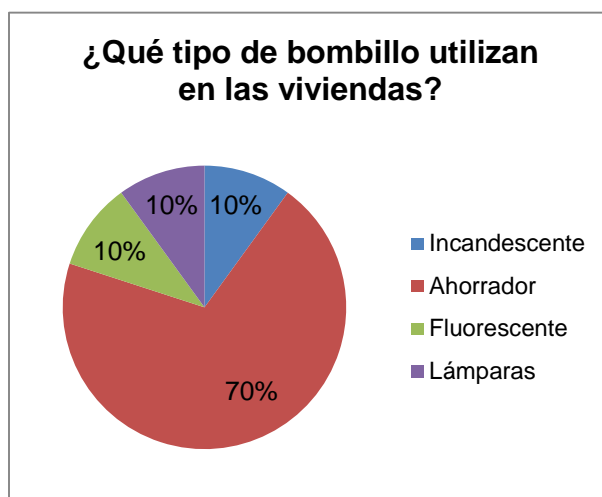


Ilustración 27. Resultados tercera jornada de entrevistas (iluminación utilizada). Fuente: Autora.

Quienes viven allí no son conscientes de que no está correctamente iluminada, incluso se observó el caso de una vivienda donde la madre culpaba a la mala visión de su hija el hecho de tener que encender el bombillo para pelar correctamente unas papas. En esta zona, se observaron más casas remodeladas que en la primera, quizás porque tienen más tiempo de haber sido entregadas. Habían algunas casas cuyas paredes estaban pintadas y eso influía positivamente en la iluminación, no solucionaba la carencia de luz del todo, pero si hacía la diferencia frente a las que tenía las paredes en obra negra.

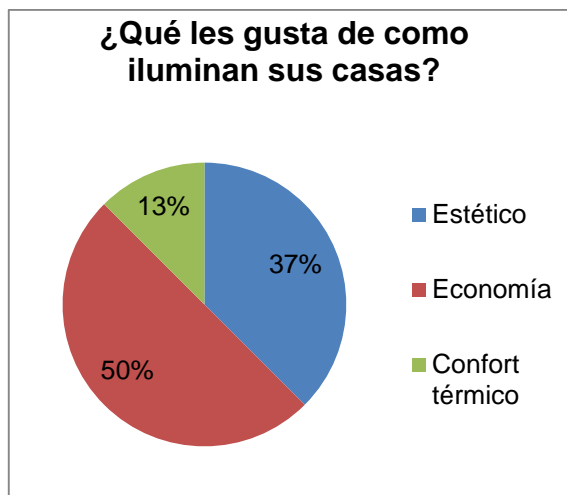


Ilustración 28. Resultados tercera jornada de entrevistas (iluminación). Fuente: Autora

En este caso se repitieron los datos que en la encuesta realizada en Altos de Betania: la mayoría usan bombillos ahorradores y les gusta hacerlo por razones económicas. Con respecto a la pregunta 4, el 100% de las casas contaban con cocinas carentes de iluminación natural, no todos lo manifestaban, pero es algo que se observaba a simple vista. También el 100% de los encuestados manifestaban que para efectos de compensar la carencia de luz solar, instalaban y encendían bombillos ahorradores en sus cocinas. Acerca de si deseaban o no tener un dispositivo de iluminación que les permitiera reducir el consumo, todos quienes fueron entrevistados respondieron con un SI contundente.

3.3.1.1.4. Conclusiones

El acercamiento a los usuarios es una actividad sumamente enriquecedora, brindó una perspectiva al proyecto bastante amplia, desmintió muchas hipótesis y aportó nuevo conocimiento al proyecto. No sólo el hecho de completar las entrevistas, sino permitirse observar a los usuarios interactuando en su contexto de uso, brindó datos que de ninguna otra forma habrían podido ser tenidos en cuenta.

Respecto al tema del proyecto, la iluminación de las viviendas, se pudo observar un comportamiento repetitivo entre los usuarios. Quienes habitan viviendas unifamiliares experimentan un inadecuado confort visual en el salón múltiple de las viviendas, la luz del sol no ingresa correctamente a esta habitación durante el día. Los usuarios resuelven este problema de diferentes maneras:

- Ubican el mobiliario necesario para realizar sus tareas en el exterior de la vivienda, aprovechan la luz del sol para ahorrarse el tener que encender un bombillo y por consiguiente un gasto económico.
- Instalan bombillos ahorradores en la cocina, de esta manera consiguen la luz necesaria para sus actividades.
- Realizan remodelaciones a sus viviendas, abren ventanas o instalan tejas transparentes, todo ello con el fin de permitir que más luz natural ingrese a la vivienda.

De manera que la mayoría de los encuestados ya se han dado a la labor de solucionar la falta de luz en sus viviendas. Quienes aún no lo han hecho no lo consideran necesario, y es aquí donde nos enfrentamos a la subjetividad que se tiene para calificar la iluminación de una habitación. Los usuarios no consideraban necesario mejorar la iluminación de sus viviendas, pero al presentárseles la posibilidad de hacerlo, de mencionarles que alguna zona de su casa carecía de la adecuada iluminación, se hallaban interesados en mejorar este aspecto.

Por otra parte, se pudo observar detalladamente no solo la forma en que se entregan las viviendas, sino la evolución que éstas van teniendo por cuenta de sus propietarios. Los materiales en los que se construyen son completamente diferentes a los materiales en los cuales se construyen las edificaciones donde normalmente se instalan sistemas de tubos reflectantes. Carecen de cielo raso y paredes falsas, las cuales usualmente sirven para ocultar los diferentes componentes de los sistemas de iluminación natural.

Los patios, otra fuente de luz natural presente en las VIS, no cumple con dicha función. Esto se debe a que las familias requieren de más de una alcoba para albergar a todos sus integrantes, y por consiguiente, utilizan el espacio del patio para construir, con los recursos que tienen a su alcance, habitaciones extra.

Teniendo en cuenta este hallazgo, se traza como objetivo, adaptar los componentes del sistema de iluminación de manera que se ajuste a las características particulares de las VIS, en términos de materiales, estructura, proceso de construcción y evolución por reformas.

3.3.1.2. Análisis de las actividades realizadas dentro de la vivienda

Como parte del objetivo de las jornadas de entrevistas, se tuvo el análisis de las actividades realizadas en las viviendas, con el ánimo de brindar una solución que se ajuste a sus habitantes. Para ello, durante las diferentes

entrevistas, se realizaron las preguntas abiertas relacionadas con las actividades realizadas en cada zona de la casa, y la duración que requerían para dicho fin.

Se obtuvieron respuestas muy variadas debido a que como ya se dijo, se realizó una pregunta abierta a los encuestados. Posteriormente se ejecutó la técnica de las recurrencias, en la cual se agrupan las respuestas en diferentes categorías para cuantificar los datos de las preguntas abiertas. En el estudio se agruparon primero las tareas realizadas, luego la hora del día en la que se realizaba, y finalmente el tiempo que cada familia decía gastar en cada una. Para efectos del estudio, se tuvieron en cuenta las actividades realizadas entre las 6am y las 6pm, porque son las horas donde se cuenta con la presencia del sol y se puede utilizar para iluminación.

Según los datos obtenidos, la zona donde las familias pasan más tiempo es el salón múltiple, allí las actividades varían en popularidad y duración. Se halló en primer lugar que la actividad más común es la de cocinar, pero no es a la que más tiempo se dedican (menos de 2 horas al día). En segundo lugar en porcentaje y tiempo invertido, se hallan la lecto-escritura, y el ocio (2 a 4 horas al día). Por otro lado, las familias pueden pasar hasta 8 horas diarias realizando trabajos de precisión (costura, bordados, servicios estéticos...), relacionados con la obtención de ingresos económicos.

Finalmente se establece que la zona de mayor uso es el salón múltiple, y que las actividades más populares, son las de lecto-escritura y ocio, como se ve en la ilustración 29.

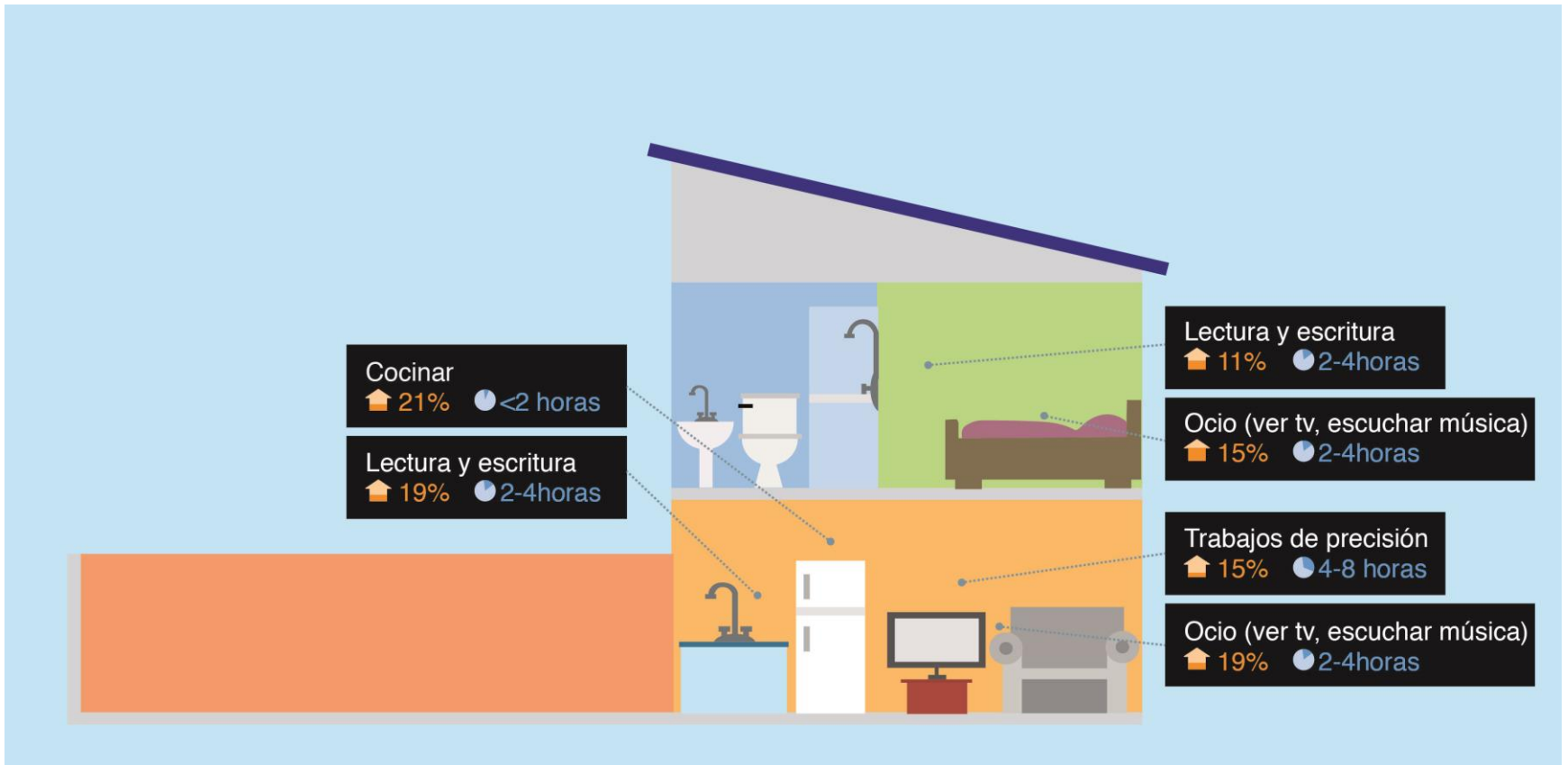


Ilustración 29. Gráfico de tareas en las VIS. Fuente: Autora

3.3.1.3. Usuario arquetipo

Un usuario arquetipo es un modelo detallado que describe un patrón en las metas, habilidades, experiencia y contexto de los usuarios primarios. Es una descripción que se basa en datos recolectados directamente de usuarios reales. Este tipo de modelos son una herramienta que permite a los equipos de diseño entender a los usuarios y tomar decisiones que se ajusten a sus necesidades (Dr Joyce yee, 2012).

Durante las jornadas de entrevistas, en ocasiones se obtuvo un ambiente de confianza y empatía con algunos usuarios más que con otros. Este espacio permitió que se conociera información y se hallaran patrones de conducta, sobre los cuales se construyó el usuario arquetipo que se presenta a continuación.

Luz Marina es una mujer de 35 años, es madre de una niña de 7, y del padre de ella no sabe desde que estaba embarazada. Vive desde hace un par de años en la casa de su hermana (con su cuñado y sus dos sobrinos), mientras espera que le sea entregada la vivienda que le fue prometida luego de que la suya se viniera abajo por causa de la temporada de lluvia. Luz Marina pela maíz, vende masa, morcillas, tamales, en fin, hace cuanto oficio se le aparece porque según dice “mientras tenga mis brazos para trabajar, no seré pobre”. Su mayor motivación es su hija, por ella es que está luchando para conseguir la casa, “yo peleo mi casa por mi hija, porque con eso ella va a tener al menos asegurado un techo si me llega a pasar algo”. Aún no sabe a detalle cómo será su vivienda, mucho menos como va a amoblarla, tan solo conoce el lote donde se está proyectando, y espera que una vez vivan su hija y ella solas sea “capaz con la platica que me gano de aguantar los gastos de la casa y tenerla bien bonita”.

1.4.1.4. “Guía para identificar características de la cultura de una localidad”

La “Guía para identificar características de la cultura de una localidad. Enfocada a diseñadores industriales” (Lechuga, 2013) es una herramienta que permite entender la relación entre la cultura y el diseño industrial. Esta guía como resultado brinda diseños que responden a problemáticas y necesidades reales locales, que comprenden la vida del usuario y el rol social que sigue, y que aprovechan los recursos tanto naturales como locales del entorno local.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CULTURA DE LA LOCALIDAD

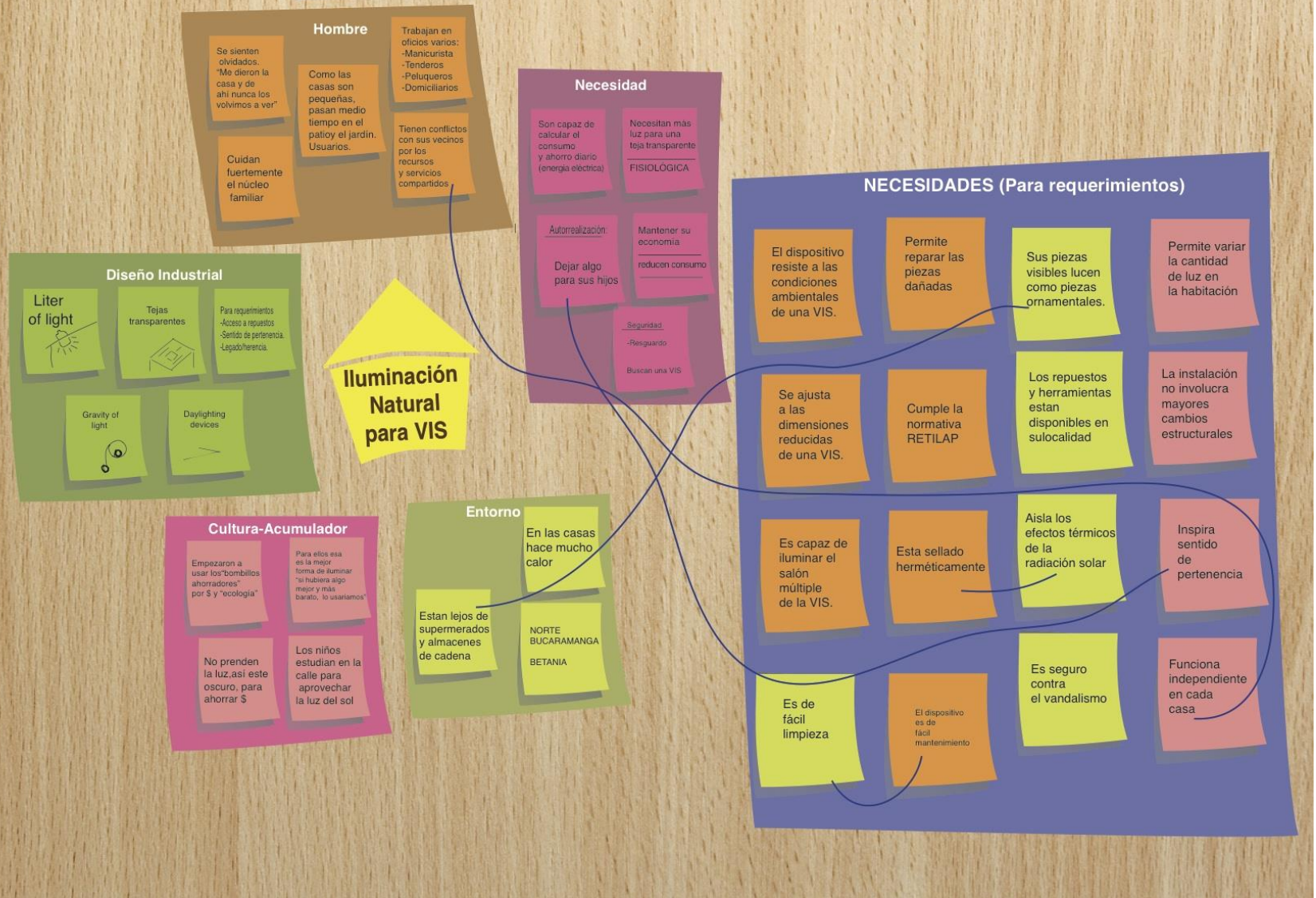


Ilustración 30. Diagrama de Identificación de las características culturales de las VIS. Fuente: Autora

Para el análisis se establece la construcción de un diagrama que se observa en la ilustración 30 en el cual se organiza toda la información obtenida. Este diagrama contiene los factores, hombre, necesidades, entorno, diseño industrial y cultura-acumulador. En el centro se encuentra el producto, ya que es el resultado de todos los factores a su alrededor.

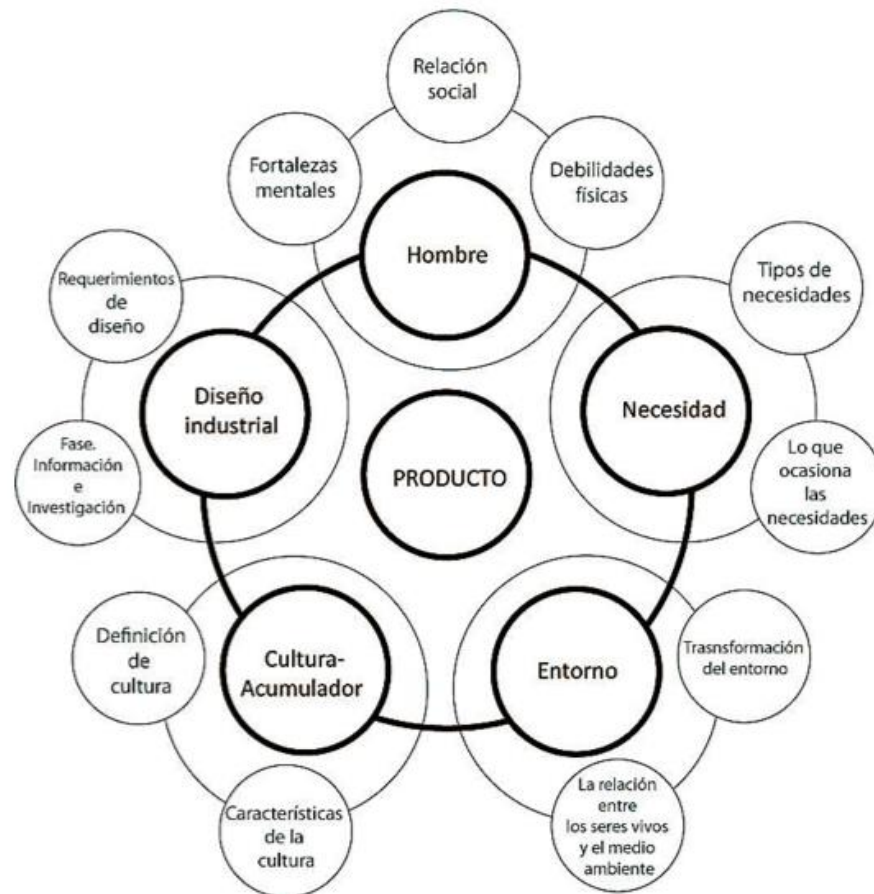


Ilustración 31. Diagrama para identificar las características de la cultura de una localidad. Fuente: (Lechuga, 2013)

Conclusiones:

- **Del factor hombre:**
Cómo las personas discuten por los recursos compartidos, el dispositivo funcionará de manera independiente para cada vivienda.
- **Del factor entorno:**
Las VIS están muy lejos del casco urbano, para hacer el mantenimiento del dispositivo se requerirá de herramientas que puedan hallarse dentro de la vivienda.

- **Del factor necesidad:**

Las personas que viven en las VIS se sienten olvidadas por parte del gobierno, el dispositivo despertará en los habitantes un sentido de pertenencia hacia sus casas.

3.3.2. Usuarios secundarios

Personal de mantenimiento, reparación e instalación: Personas con conocimientos técnicos de construcción e instalación de dispositivos de iluminación.

3.3.2.1. Entrevistas con expertos

En este proyecto se tratan temas vinculados con disciplinas diferentes al diseño industrial, como son la ingeniería y la arquitectura. Por lo tanto fue necesario integrar dentro de las actividades de indagación, una serie de entrevistas con expertos en el tema. Las entrevistas con expertos permiten acceder a información profunda sobre los temas de interés, entender regulaciones que podrían afectar el diseño e implementación del proyecto y establecer un panorama sobre las posibles nuevas tecnologías y puntos de innovación.

Las entrevistas fueron programadas con un experto en la construcción de VIS, y con un experto en edificios verdes. Primero se acordó una cita con cada uno, y posteriormente se establecieron las preguntas y temas a tratar. A continuación se presenta un informe sobre los hallazgos obtenidos a partir de esta actividad.

3.3.2.1.1. Argemiro Portala Cala

Argemiro Portala Cala es estudiante de Negocios Internacionales de la Universidad Santo Tomás, lleva 6 años trabajando con una organización que construye viviendas de interés social en diferentes ciudades del país. El proyecto que está desarrollando para la fecha de la entrevista, tiene lugar en Puente Sogamoso, donde Indupalma tiene una importante planta y por consiguiente ha donado unos terrenos en los cuales se están construyendo viviendas para la gente de la región.

El trabajo del Sr. Portala consiste en reunir a los beneficiarios, conseguir un lote y acto seguido, los subsidios por parte del gobierno local, las cajas de compensación y el Fondo Nacional del Ahorro. Según su experiencia, una VIS puede llegar a costar alrededor de 30 millones de pesos, la parte más costosa es el lote, y el resto del dinero se emplea en la instalación de los servicios públicos y los diferentes costos de construcción.

Un punto a resaltar, es el empeño que como constructores le ponen a la disminución de costos. Para ello usan ventanas más pequeñas, se limitan a lo estrictamente necesario la altura de las viviendas, se obvian los acabados superficiales, en fin. Argemiro cuenta que deben entregar a la Curaduría los planos de la estructura de la vivienda, así como las pruebas en el concreto que se va a ocupar, y que son bastante estrictos con que se cumpla con dichos requisitos, ya que son la exigencia de la Alcaldía para entregar el dinero de los subsidios otorgados.

Argemiro no conocía de la existencia de los sistemas de iluminación natural, pero se muestra interesado en su funcionamiento. Sugiere posibles planes piloto para poner en acción el proyecto, como la implementación de una casa modelo que sirva de ejemplo para que los habitantes de las VIS se interesen por su instalación. También habla de la posibilidad de hacerlo parte del subsidio otorgado por la alcaldía, para que de esta manera sea institucionalizado en todas las viviendas. En cualquiera de los casos, el dispositivo debe ser muy económico, debe tener un costo proporcional al costo de las VIS.

3.3.2.1.1. Germán Osma Ing. Electrónico , Magister en Electrónica, Candidato a Doctor en Ingeniería.

El área de desempeño de Germán es el de edificaciones verdes. Dentro de la experiencia se encuentra el diseño del nuevo edificio de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Industrial de Santander.

Se inició la conversación con él con un cuestionamiento que surgió durante la revisión bibliográfica: ¿Por qué si la tecnología de iluminación natural lleva más de 12 años en el mercado, en Colombia no existe aún ningún fabricante de este tipo de dispositivos?

De esta forma Germán comenta que en el país es muy poca gente la que conoce acerca del tema de iluminación natural, y quienes saben del tema no tienen mucha experiencia al respecto. Esto se debe a que la preocupación por el tema del desarrollo sostenible es algo que también es muy nuevo en Colombia, y son los arquitectos, ingenieros y diseñadores que se involucran en este tema, quienes llegan a conocer sobre la iluminación natural.

Teniendo en cuenta es reducido el conocimiento en lo referente a iluminación natural, la oferta en el mercado, hasta hace unos 3 años era inexistente, por lo tanto, quienes querían en esa época implementar los dispositivos de tubos reflectantes debían importarlos desde Europa. En Europa esta tecnología tiene larga trayectoria ya que el desarrollo sostenible es un tema que se trata

desde el siglo XVIII en países como Alemania, adicionalmente, su posición geográfica les da la posibilidad de tener dos tipos de aprovechamiento de las radiaciones solares. Por un lado, al recibir directamente los rayos del sol en el costado sur de las edificaciones, todo tipo de iluminación puede configurarse para sacar provecho de esta condición. Por otra parte, el costado norte saca provecho de las radiaciones solares para el acondicionamiento térmico de las edificaciones.

3.4. Necesidades técnicas y de usuario

Antes de iniciar las lluvias de ideas y la generación de conceptos, es necesario realizar una interpretación de los datos. Esta actividad unificó los conceptos y hallazgos provenientes de las diferentes actividades investigativas realizadas, y por lo tanto llevó a la creación de la lista de necesidades que se presenta a continuación.

Tabla 2. Necesidades técnicas y de usuario. Fuente: Autora

#	Técnica	Usuario	Necesidad
1	X		El dispositivo debe ser de fácil mantenimiento
2	X		Debe ser resistente a las condiciones ambientales del lugar donde se instale
3	X		Las dimensiones deben ser las justas y necesarias para garantizar prestaciones y adaptación a las VIS
4	X		Debe permitir la reposición de piezas averiadas
5	X		Debe estar sellado herméticamente, evitando que seres vivos e impurezas ingresen a la VIS
6	X		El dispositivo debe cumplir con las normas RETILAP
7	X		La instalación del dispositivo debe ser fácil y rápida
8	X		El dispositivo debe funcionar independiente en cada VIS
9		X	Debe aislar los efectos térmicos de la radiación solar
10		X	Debe lucir como una pieza ornamental dentro de la VIS
11		X	Los repuestos deben estar disponibles cerca de la VIS
12		X	El dispositivo debe ser seguro frente al vandalismo
13		X	El dispositivo debe iluminar eficientemente el salón múltiple
14		X	Debe ser de fácil limpieza

15	X	Debe inspirar sentido de pertenencia
----	---	--------------------------------------

3.5. Especificaciones de producto

Con base a las necesidades técnicas y de producto, y a los datos culturales y de mercado, se generó una lista de especificaciones de producto. Para cada especificación, se estableció un parámetro cuantitativo o cualitativo, que posteriormente será fundamental para evaluar si los conceptos cumplen o no con los requisitos de producto.

Tabla 3. Especificaciones de producto. Fuente: Autora.

Aspecto	Requerimiento	Necesidad que satisface	Métrica	Parametrización
Aspectos Técnico-Productivos	El dispositivo es resistente a las condiciones ambientales a las que se expone	2	Resistencia a la humedad	HR Bucaramanga 83%
			Resistencia a los impactos	(Material para piezas superficiales) >5 en escala de Rockwell
			Impide la condensación	Hermeticidad
	El dispositivo aísla los efectos térmicos de la radiación solar	2	Sellado herméticamente	(lista)
	La instalación del dispositivo es fácil	7	Proceso de instalación	(lista <5 pasos)
Permite la reposición de piezas averiadas	1, 4	Herramientas necesarias para mantenimiento	(lista)	
Los componentes del dispositivo funcionan independientemente en cada vivienda	8	Piezas	(Si o no)	
Aspectos Funcionales	Partes del dispositivo	5, 12, 11	Recolector: Refractará la luz hacia el conducto.	(Material) índice de refracción $\geq 1,5$
			Conductor: Reflejará y transportará los rayos hacia el interior	(Material) índice de reflexión $\geq 98\%$

			Difusor: Distribuirá la luz dentro de la vivienda	(Material) acabado superficial $\approx \lambda$
			Anclaje: Fijará las piezas a la estructura de la vivienda	(Si o no)
	Provee iluminación espacios de las VIS	13	Área que ilumina - Cantidad de luz	Salón Múltiple 15 m ² - 200 lx (Ver Anexo D)
	Se adapta a las dimensiones de la VIS y ocupa un mínimo espacio	3	Área que ocupa 5%	Salón Multiple 0,75 m ²
	El dispositivo es de fácil limpieza	14	Acabado material	Liso
	El dispositivo inspira sentido de pertenencia	15	Función simbólica	Subjetivo
Aspectos Estéticos	Las partes visibles del dispositivos lucen como piezas ornamentales	10, 15	Los componentes electrónicos y estructurales estan ocultos, y las partes visibles son estéticas.	Subjetivo
	El estilo del dispositivo es neutral, al igual que el resto de la vivienda.	15	La configuración formal del dispositivo carece de elementos correspondientes a un estilo particular.	Subjetivo

Aspectos de mercado	Mercado primario: Sector público, el dispositivo se convierte en la solución oficial del gobierno frente a la problemática del inadecuado consumo energético en las VIS	-
	Mercado secundario: Sector privado, personas de estratos 2,3 y 4 que hallen necesario utilizar una iluminación eficiente en sus viviendas.	-

4. ETAPA 2: CREACIÓN

4.1. Lluvia de ideas

Se realizó una lluvia de ideas donde se exploró en posibilidades geométricas para cada una de las partes del dispositivo (recolector, conductor y difusor). Se buscó inspiración de diferentes fuentes y finalmente se organizó en diagrama que se divide en las tres partes que componen el dispositivo.

Dispositivo de Iluminación Natural para VIS

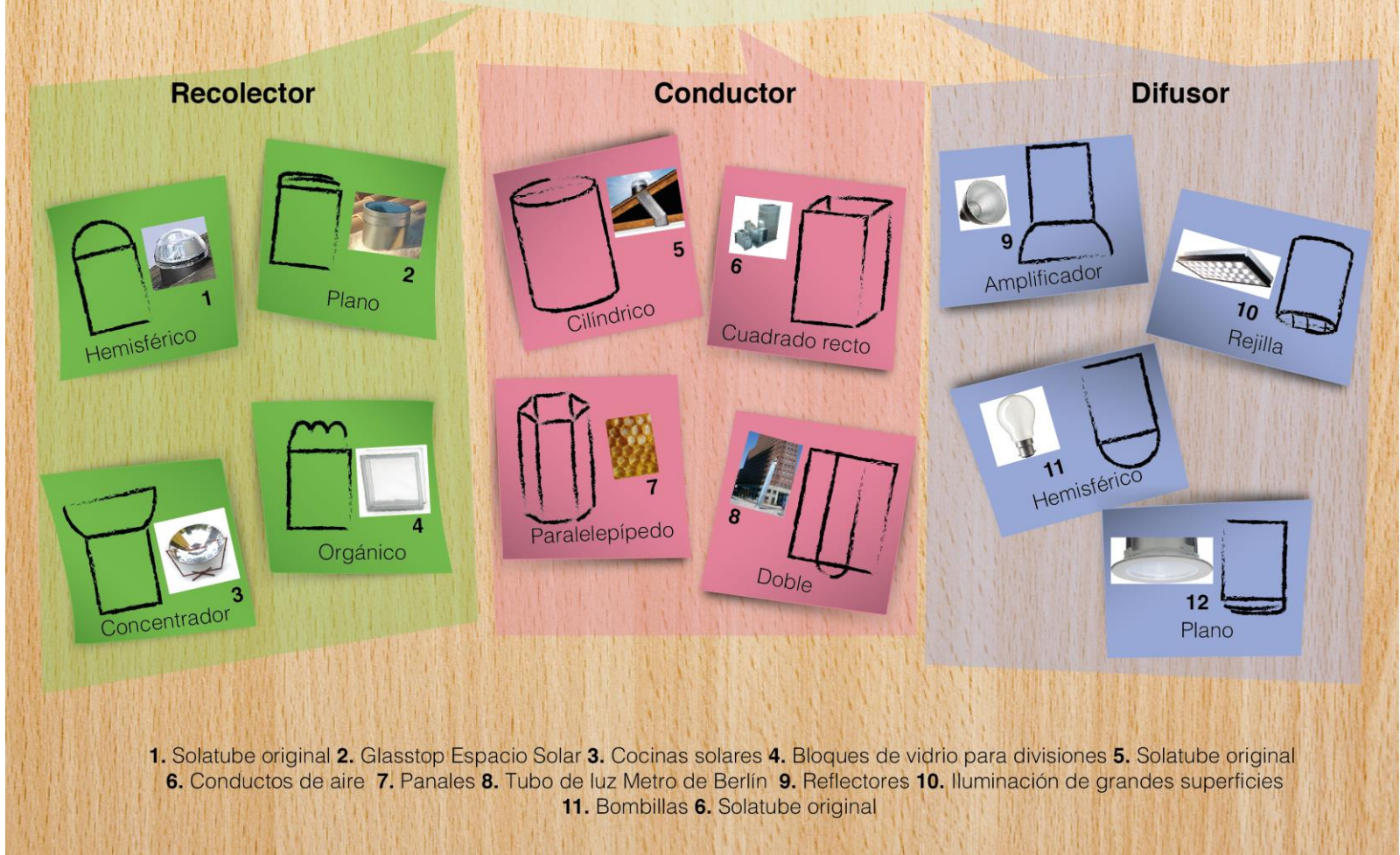


Ilustración 32. Diagrama lluvia de ideas. Fuente: Autora

4.2. Pruebas experimentales

La investigación de los diferentes sistemas de iluminación natural, permitió encontrar una amplia gama de posibilidades en términos formales y tecnológicos para aplicar dentro del proyecto. Por lo tanto se hace necesario realizar una prueba experimental para conocer y comparar el desempeño y funcionamiento de las opciones. Adicionalmente se podrá manipular la configuración del sistema de acuerdo con los resultados que se obtengan, con el fin de mejorar la forma en que se cumple con los requerimientos de producto.

Las pruebas que se presentan a continuación, sus procedimientos y herramientas, fueron diseñadas tomando como referencia un estudio realizado en la Massachusetts Academy of Math and Science, en él que se realizan una serie de modificaciones a la clásica “Botella de luz”. Las modificaciones se realizaron buscando mejorar la efectividad del diseño original, y con ello mejorar la calidad de vida en zonas de riesgo de países en vía de desarrollo (Maillet, 2011).

En dicho estudio, se construyeron modelos donde variaba no solo la configuración formal, sino también la solución o líquido en el cual se refractaba la luz, incluso se utilizó una mezcla con materias flotantes con el fin de tener una difusión diferente de la luz. En total se probaron 8 modelos, cada uno se fue insertando uno a uno en una caja, dentro de la cual se ubicó un sensor para medir la luz. La caja se hallaba en una habitación aislada de manera que la única fuente de luz provendría de una bombilla de 100 watts.

4.2.1. Primera prueba: Recolector y principio de funcionamiento

Objetivo: Confrontar el principio de reflexión de la luz en superficies y el principio de refracción en soluciones con base al desempeño de cada uno de ellos.

4.2.1.1. Herramientas

Luxómetro (instrumento de medición). Tablas para registro de datos. Cámara fotográfica.

4.2.1.2. Materiales

Modelos conceptuales (plástico, cartón, papel aluminio). Caja de cartón de 80x60x50 cm.

4.2.1.3. Variables

Principio de funcionamiento: Tanto los modelos de superficies, como los modelos de soluciones utilizan propiedades de la luz, los primeros se basan en la reflexión y los segundos en la refracción.

Índice de refracción: Determina el cambio en la velocidad de la luz al pasar de un medio a otro. En este caso se tiene el vacío=1, agua=1,333 y el aceite siliconado=4,24.

Forma: El volumen de los modelos, siendo geométrico u orgánico.

Fuentes de luz: Se utilizaron 3 fuentes de luz, la luz natural, una bombilla incandescente y una ahorradora.

Iluminancia: es la cantidad de luz que incide sobre una superficie, por lo tanto representa la cantidad de luz al interior de la caja captada por el luxómetro.

4.2.1.4. Modelos

Se elaboraron 12 modelos basados en dos principios. El primero es el de la refracción de la luz en líquidos, el segundo es el de la reflexión de la luz a través de superficies. Todos están fijados a una pieza de cartón de 40*20 cm y encajan dentro de un hueco que tiene la caja en un costado.



4.2.1.4.1. Agua/Soluciones

Los modelos de soluciones funcionan refractando la luz. Fueron elaborados utilizando botellas PET de 600ml, se varía su forma y su contenido, pero

todas están incrustadas en la pieza de cartón de manera que 1/3 de ellas quede en el exterior de la caja.

A1, A2 y A3 son botellas idénticas con forma de gota achatada en la parte inferior. La diferencia es que A1 contiene agua, A2 contiene aceite, y A3, está invertida en su orientación, es decir, la parte más ancha de la botella se ubicó para que quede en el exterior de la caja.

A4 es una botella con pequeños calados concéntricos a lo largo de la parte media. A5 tiene un corte octagonal y biseles. Ambas contienen agua.

A6 es la unión de dos botellas, está llena de agua y se incrustó en el cartón a lo largo.

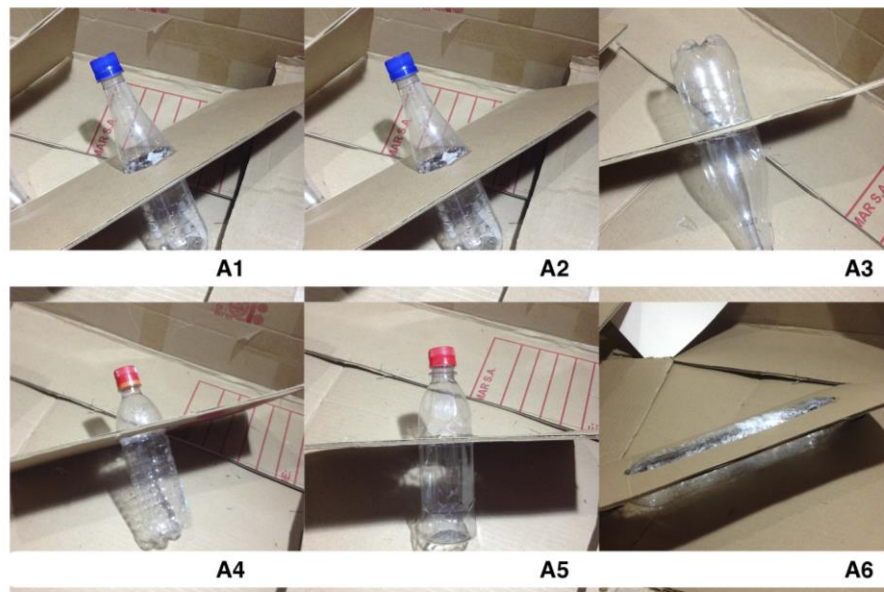


Ilustración 33. Modelos de Agua/Soluciones. Fuente: Autora

4.2.1.4.2. Superficies

Los modelos de superficies funcionan reflejando la luz. Estos modelos varían en su diámetro y en la forma de su recolector. Se construyeron en cartón paja, papel aluminio y reutilizando envases plásticos.

S1, S2 y S3, tienen un diámetro de 8cm y una longitud de 10cm. S1 tiene una cúpula semiesférica, S2, una forma orgánica y S3 es plano.

S4, S5 y S6, tienen un diámetro de 10cm y una longitud de 10 cm. S4 tiene una forma orgánica S5 una cúpula semiesférica y S6 es plano.

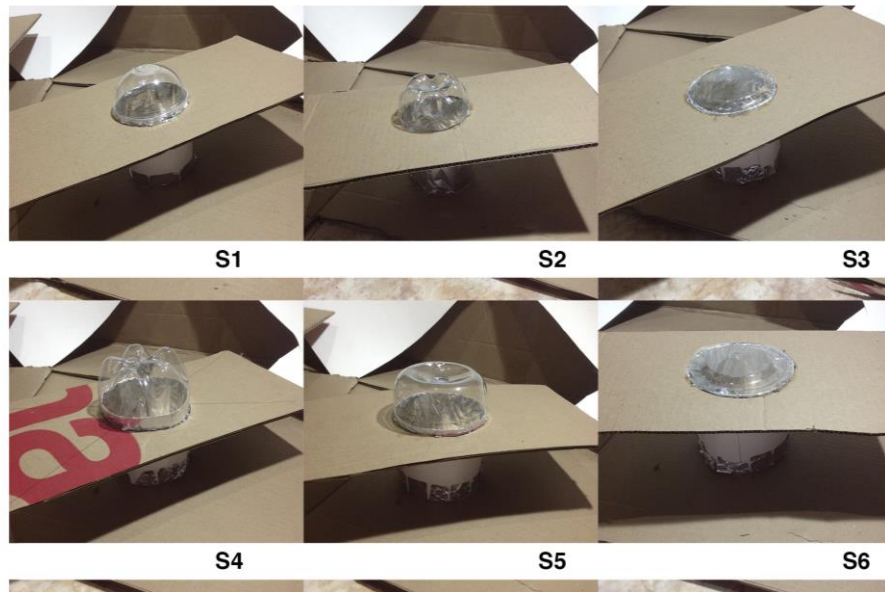


Ilustración 34. Modelos de Superficies. Fuente: Autora

4.2.1.5. Procedimiento

Los 12 modelos fueron incrustados en una caja de 80x50x60 cm. La perforación para encajar todos los modelos se hizo en un costado de la caja, para imitar las condiciones en las que funcionaría el dispositivo en una VIS. En la parte inferior del centro del costado inmediatamente contiguo, se hizo otra perforación con el fin de instalar el luxómetro con el cual se realizaron las mediciones.

El registro de datos se realizó por 2 días, a 3 horas diferentes: 10am, 12m y 3pm. Posteriormente, dada la irregularidad de las condiciones climáticas, se realizó una prueba en una habitación oscura, utilizando 2 fuentes de luz diferentes: un bombillo incandescente de 120wts y un bombillo ahorrador de 70 watts.

4.2.1.6. Resultados

A pesar de que se utilizaron diferentes fuentes de luz, y que las condiciones ambientales hicieron variar la cantidad de luz natural, los modelos de superficies se destacaron por registrar el más alto desempeño frente a los modelos con fluidos.

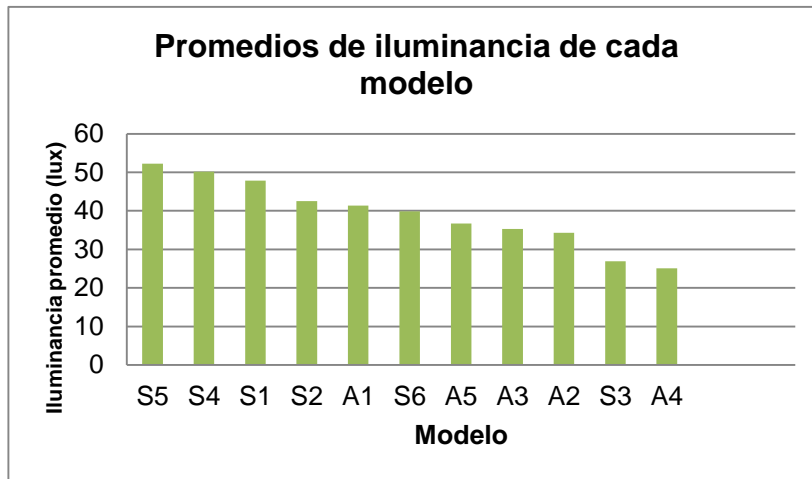


Ilustración 35. Promedios de iluminancia de cada modelo. Fuente: Autora.

Los modelos de superficies se dividían en dos grupos según su diámetro, y en ambos grupos se observó un desempeño similar para aquellos cuyo recolector tenía la misma geometría. S6 y S3, con un recolector plano fueron los que menos luz podían transportar. S5 y S4, con una cúpula formada por 5 esferas unidas tuvieron un rendimiento aceptable. Finalmente aquellos que consiguieron llevar al interior de la caja la mayor cantidad de luz, fueron aquellos con una cúpula hemisférica: S1 y S5. Se observó un comportamiento similar en los modelos que contenían fluidos, ya que los que más luz transportaron fueron A1 y A5, ambos con formas lisas y hemisféricas.

4.2.2. Segunda Prueba: Conductor

Objetivo: Evaluar el desempeño de geometrías aplicables al diseño de un modelo de superficies reflectantes.

Con base a los resultados de la primera prueba experimental, se concibió una nueva prueba, con el fin de aplicar variaciones sobre los modelos más efectivos y valorar su desempeño. El procedimiento para ejecutar esta prueba es exactamente igual al de la primera, con la diferencia de que se usaron modelos con otras geometrías. En esta prueba, a diferencia de la primera, se realizaron variaciones en el conducto reflectante, se probaron formas cónicas y la introducción de un cilindro de aluminio, todo esto con el fin de comprobar si alguna de las formas podría multiplicar la cantidad de luz que ingresaba a la caja.

4.2.2.1. Herramientas

Luxómetro (instrumento de medición). Tablas para registro de datos. Cámara fotográfica.

4.2.2.2. Materiales

Modelos conceptuales (plástico, cartón, papel aluminio). Caja de cartón de 80x60x50 cm.

4.2.2.3. Variables

Forma: El volumen de los modelos, siendo cilindros rectos y cónicos.

Iluminancia: es la cantidad de luz que incide sobre una superficie, por lo tanto representa la cantidad de luz al interior de la caja captada por el luxómetro.

4.2.2.4. Modelos

Se realizaron 6 modelos diferentes, todos para que funcionaran bajo el principio de superficies reflectantes y recolector hemisférico. Las superficies reflectantes se componen de un soporte en cartón cubierto, al igual que en la prueba 1, con papel aluminio. Sus variaciones son con respecto a la forma del conductor, se elaboraron 3 cónicos y 3 rectos, 4 con un diámetro de 9 cm y 2 con un diámetro de 8,5cm.

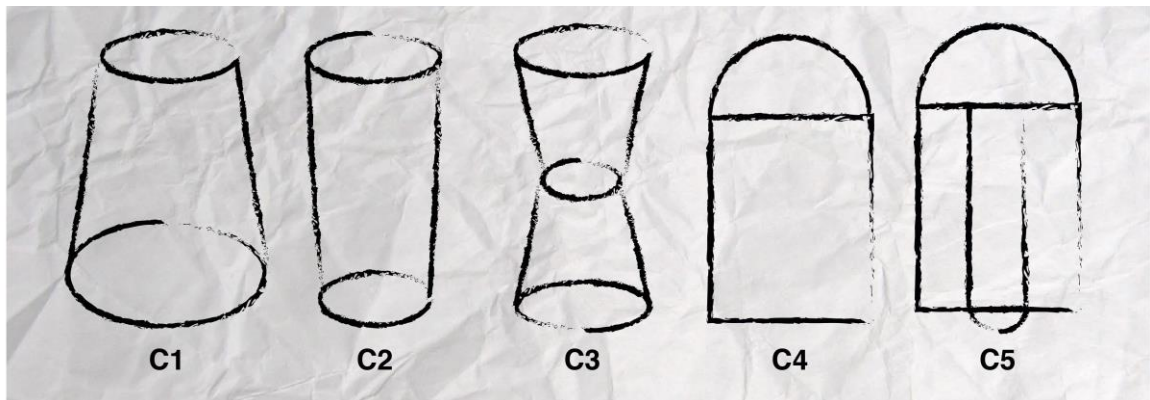


Ilustración 36. Modelos prueba conductor. Fuente: Autora.

C1, C2, C3 y C4 tienen una cúpula superior con un diámetro de 9 cm. C1 y C2 son conos truncados, con 18 y 6 cm de diámetro final respectivamente. C3 está formado por dos conos truncados unidos por su diámetro menor. C4 es un cilindro recto. C5 y C6 son cilindros rectos con un diámetro de 8cm, tienen una cúpula superior de igual diámetro. C5, está vacío en su interior, C6 tiene un cilindro interno de 3cm de diámetro cubierto con aluminio.

4.2.2.5. Resultados

En el experimento se enfrentaban entre sí en primer lugar, diferentes variaciones de un conducto reflectante sin aristas (C1, C2, C3, y C4), es decir, cónicos y cilíndricos. Por otra parte se enfrentaban dos cilindros rectos (C5 y C6), uno completamente vacío y otro con un cilindro interior.

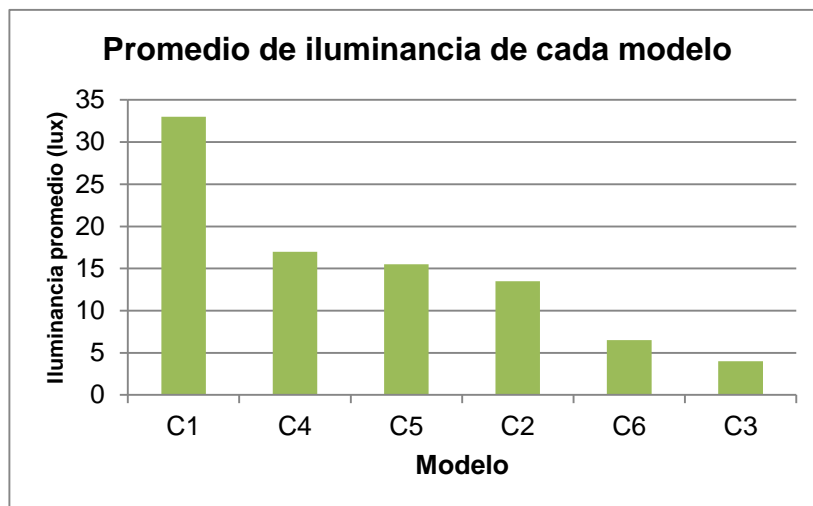


Ilustración 37. Promedios de iluminancia de cada modelo. Fuente: Autora

El modelo que registro los niveles más altos de luminancia fue C1, el cual por tener la forma de un cono truncado con su base menor en la cúpula, tiene sus paredes ligeramente inclinadas hacia el interior de la caja, lo que permite que la luz se oriente en ese sentido. El siguiente en la lista es C4, un cilindro recto. Posterior a este, C3, un cono truncado con su base mayor en la cúpula y que por lo tanto tenía sus paredes orientadas hacia el exterior de la caja. En último lugar figura C3, un conducto formado por dos conos truncados, en este tipo de volumen claramente se pierde la luz entre las reflexiones en su interior. Entre los modelos de 8,5cm de diámetro, en los cuales se enfrentaba un cilindro vacío contra un cilindro que contenía a otro en su interior, el modelo C5 superó notablemente al modelo C6, dejando claro que cuando los cilindros son vacíos en su interior, los resultados son mejores.

4.2.3. Tercera Prueba: Conductor

Objetivo: Evaluar el desempeño de geometrías aplicables al diseño de un modelo de superficies reflectantes.

Con el fin de continuar experimentando con las formas para el conducto, se prepara una nueva prueba en la cual se utilizan conductos con aristas. Para ella, se continuó el mismo procedimiento que en las pruebas anteriores. El objetivo de utilizar conductos prismáticos es hacer posible la instalación de múltiples dispositivos en los costados de la vivienda siguiendo un esquema modular.

4.2.3.1. Materiales

Luxómetro (instrumento de medición). Modelos conceptuales (plástico, cartón, papel aluminio). Caja de cartón de 80x60x50 cm. Tablas para registro de datos. Cámara fotográfica.

4.2.3.2. Variables

Cantidad de caras: El volumen de los modelos, siendo cilindros y paralelepípedos.

Iluminancia: es la cantidad de luz que incide sobre una superficie, por lo tanto representa la cantidad de luz al interior de la caja captada por el luxómetro.

4.2.3.3. Modelos

Se construyeron 3 modelos, R1, R2 y R3, con bases cuadrada, hexagonal y circular respectivamente. Para igualar las condiciones entre ellos, se calcularon de manera que todos poseían el mismo volumen. Se colocaron, cada uno en una pieza de cartón y al igual que en las dos primeras pruebas, se fueron insertando en la caja y con el luxómetro se registro la cantidad de luz que conducían hacia adentro.

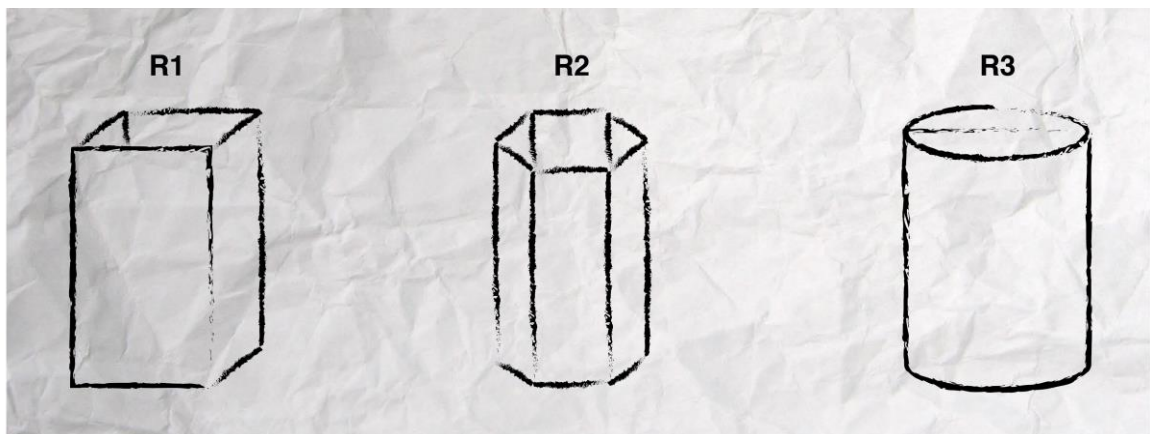


Ilustración 38. Modelos prueba conductores. Fuente: Autora.

4.2.3.4. Resultados

Al variar tanto las fuentes de luz, como los modelos, se hizo una mínima diferencia, siendo R1 el que ocupó el primer lugar, fue tan solo por una décima frente a R3. De manera se puede afirmar que no existe una diferencia considerable si se agregan aristas al conducto reflectante.

4.2.4. Cuarta Prueba: Difusor

Objetivo: Experimentar diferentes posibilidades en la configuración formal para el difusor del dispositivo.

4.2.4.1. Materiales

Caja de cartón de 21x21x29. Modelos de difusores. Luxómetro. Cámara fotográfica. Tablas de registro.

4.2.4.2. Modelos

Se utilizaron 6 modelos, todos fabricados en hojalata de aluminio y con el mismo diámetro (4cm). El primero, D0, es tan solo un cilindro vacío. Los demás, D1, D2, D3, D4 y D5, cuentan con rejillas y reflectores tal como se muestran a continuación.

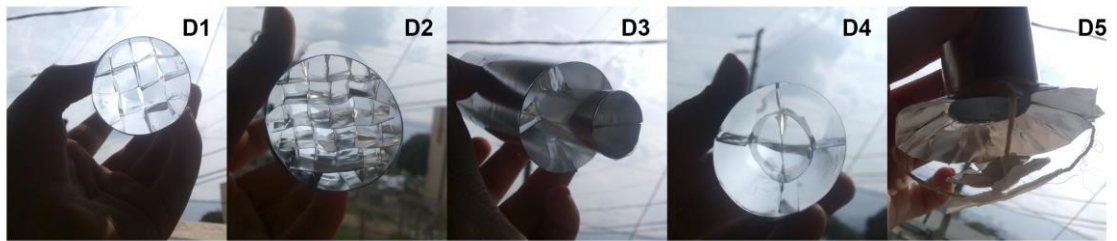
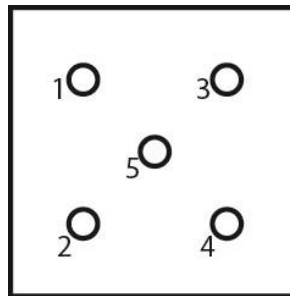


Ilustración 39. Modelos de difusores. Fuente: Autora

4.2.4.3. Procedimiento

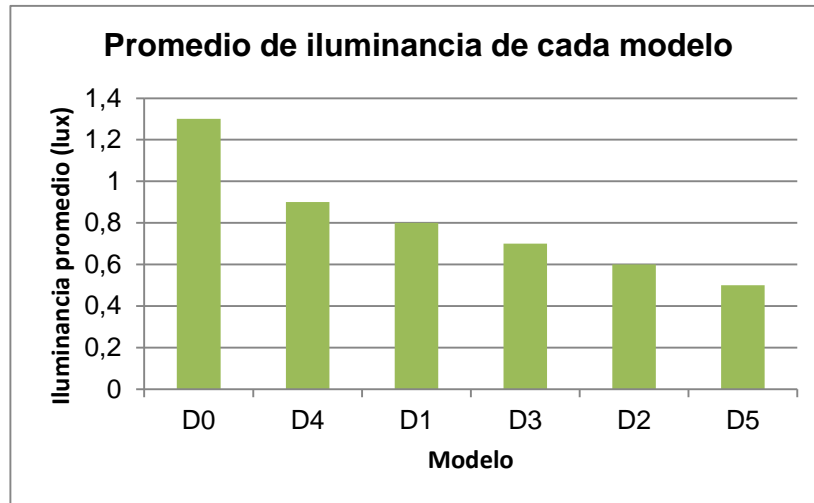
Esta prueba es de la misma naturaleza de las pruebas anteriores realizadas con recolectores y difusores. Al igual que en ellas, se mide la iluminancia al interior de una caja de cartón, a la cual se le ha realizado un agujero a través del cual se introducen los diferentes modelos que se están poniendo a prueba. A diferencia de los anteriores, en este experimento se buscaba conocer la cantidad y distribución de luz que permitía cada uno, para ello se distribuyeron 5 perforaciones en la parte inferior de la caja, la cara opuesta al punto de inserción del tubo y el difusor.



Teniendo en cuenta las condiciones variables de la luz natural, se realizaron 3 mediciones con cada uno de los modelos, y adicionalmente, se midió la iluminancia en el exterior antes y después de realizar la prueba con cada modelo. Todo esto con el fin de utilizar los promedios y minimizar los errores provenientes de las variaciones de la luz solar.

4.2.4.4. Resultados

Para evaluar el desempeño de cada uno de los modelos, primero se calculó el promedio de la iluminancia, primero en cada punto y luego en total. Este



valor se enfrentó con el promedio de iluminancia en el exterior, para con ello obtener una relación luz exterior-interior que permitiera evaluar con más precisión el desempeño de cada modelo.

Los resultados se muestran a continuación, en orden descendente.

Ilustración 40. Promedio de iluminancia para cada modelo. Fuente: Autora.

Por otra parte, se relacionó el promedio de iluminancia en cada punto, con la iluminancia en el exterior, con el fin de elaborar un gráfico que permitiera conocer la distribución de la luz que cada modelo presentaba.

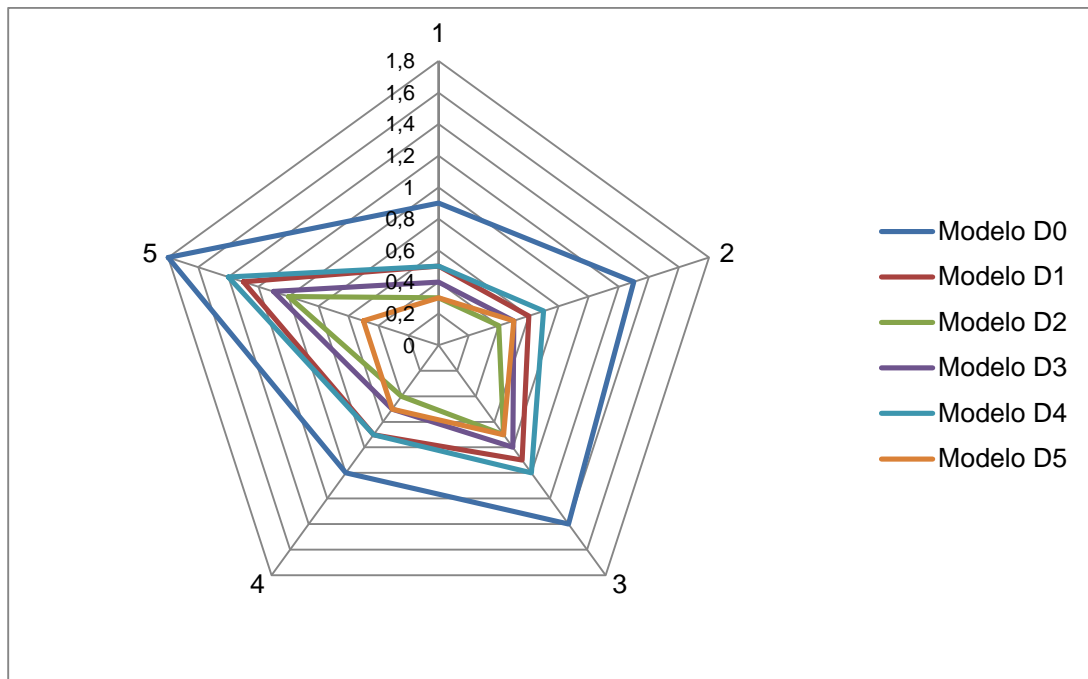


Ilustración 41. Distribución de iluminancias para cada modelo. Fuente: Autora

4.2.5. Conclusiones

De las diferentes etapas de la prueba se obtienen las siguientes conclusiones:

- El recolector más eficiente es aquel cuya forma es hemisférica lisa.
- La introducción de un cilindro reflectante dentro del conducto, no multiplica la luz, por el contrario, reduce la cantidad de luz que llega al final del tubo.
- Los conductos más eficientes son los rectos y los que tienen una forma cónica con su base menor en el exterior.
- El desempeño de los conductos cilíndricos, es igual al de los conductos con aristas, por lo tanto se puede considerar su utilización para crear esquemas modulares en la vivienda.
- A pesar de que se buscó distribuir la luz con varios tipos de rejillas reflectivas, la mayor concentración de luz siempre se halló en el centro de la caja, a excepción del modelo D5, pero este modelo recibió en todos los porcentajes de luz un bajo desempeño.
- El modelo D5, que se basa en el principio de reflectores parabólicos, presentó un desempeño pobre, lo cual se le atribuye a la falta de precisión en su construcción y se sugiere reproducir la prueba, elaborando un modelo más exacto.

4.2.6. Consulta con experto: PhD. Arturo Plata

Arturo Plata es Físico, tiene una Maestría en Modelos Matemáticos y es Doctor en Ciencias del Ingeniero (Óptica). Cuenta con experiencia como docente e investigador en temas de nanometrología de materiales y tratamiento híbrido de señales.

Se acudió a él, justo antes de la fase de generación de alternativas, con el fin de conseguir una explicación certera de los resultados de las pruebas experimentales.

En cuanto al éxito del recolector con forma hemisférica lisa, explica que superó en primer lugar al plano, porque ocupa una superficie mayor, y por consiguiente, más rayos inciden en él e ingresan al conductor. En segundo lugar, la forma de cúpula, sobre la forma orgánica, consigue mayor iluminancia porque los rayos que inciden en ella tienen un mínimo cambio en su dirección, cosa que no sucede en el recolector de forma orgánica debido a su complicada geometría.

Se consultó acerca de la inclusión de lentes en el sistema, sobre lo cual, él sugirió realizar experimentación para conocer que tipo de lente se adecua a las necesidades del proyecto. Posteriormente se consultó sobre la disponibilidad y asequibilidad de estos elementos en el país, y comentó que no son fabricados en Colombia, que la fabricación precisa de un lente puede tardar hasta un día según las especificaciones, y que son costosos, aquellos que se fabrican en cristales son los que tienen una mayor vida útil (8 años aprox, usándolos unas cuantas horas al mes), mientras que los que se fabrican en polímeros alcanzan tan solo 4 años con la misma frecuencia de uso.

4.3. Generación de alternativas de producto.

Al entrar a la fase de diseño se tiene en cuenta que el diseño de los lumiductos analizados es incompatible con los sistemas de construcción colombianos, ya que los elementos que lo componen se sitúan en medio del cielo raso y las paredes falsas de las habitaciones, y en Colombia las viviendas, particularmente las VIS, se construyen sin estos espacios ni nada que se les asemeje.

Para guiar la fase de generación de alternativas, se utilizó como fundamento la prueba experimental, de manera que se generó una propuesta a partir de los modelos que presentaron un desempeño destacado en el experimento. En la ilustración 42 puede verse el origen de cada una de las alternativas.

Generación de alternativas

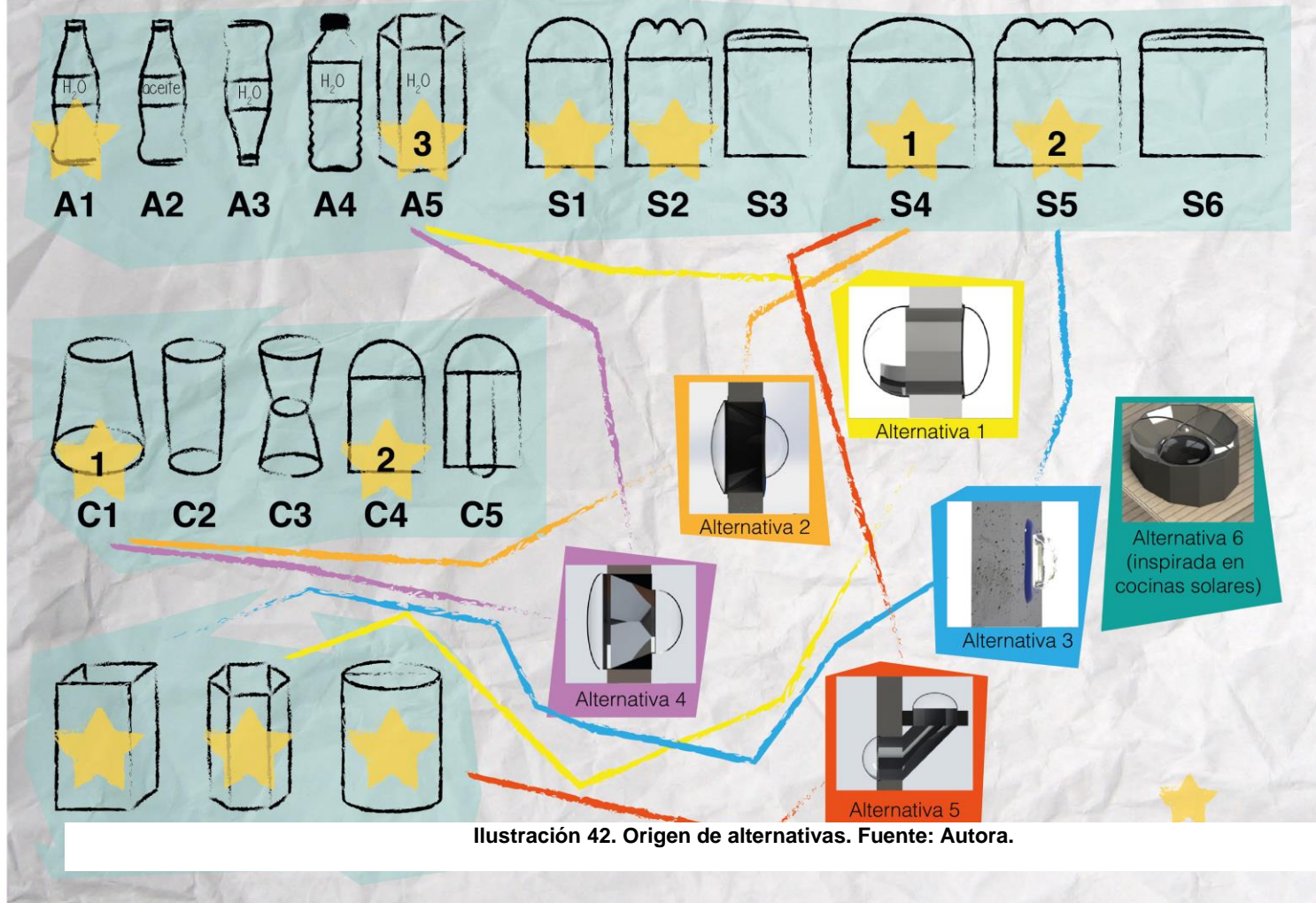


Ilustración 42. Origen de alternativas. Fuente: Autora.

4.3.1. Alternativa 1

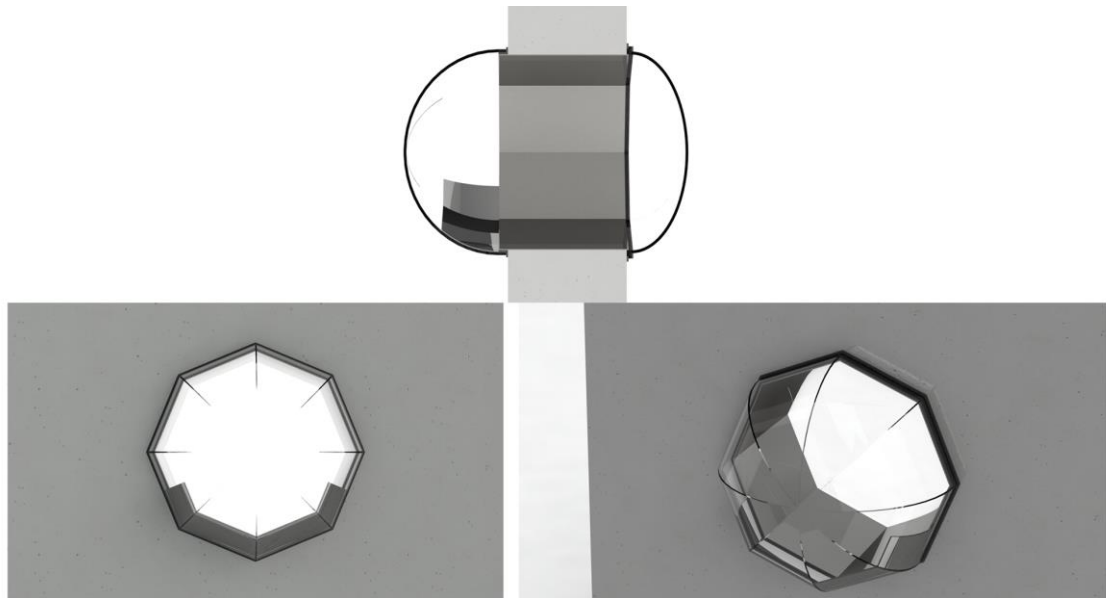


Ilustración 43. Alternativa #1. Fuente: Autora

Tanto el recolector como el difusor de esta alternativa se basan en la geometría del modelo A5, una botella hemisférica de corte octagonal. Además incluye dentro del recolector una placa reflectora con el fin de direccionar las radiaciones solares hacia el interior del conducto.

Dimensiones:

Conductor: $\varnothing M=20\text{cm}$, longitud=12cm

Recolector: $\varnothing=20\text{cm}$, altura= 12cm

Reflector parabólico: $\varnothing=20\text{cm}$, altura= 6cm

Difusor: $\varnothing=20\text{cm}$, altura=8cm

Materiales:

Conductor: aluminio pulido e1mm

Recolector: policarbonato e3mm

Difusor: policarbonato e3mm

Secuencia de instalación:

1. Con ayuda del molde, realizar perforación en el muro
2. Insertar el conductor en la perforación
3. Colocar el reflector parabólico dentro del recolector

4. Colocar el difusor en el interior, el recolector en el exterior y atornillar

4.3.2. Alternativa 2

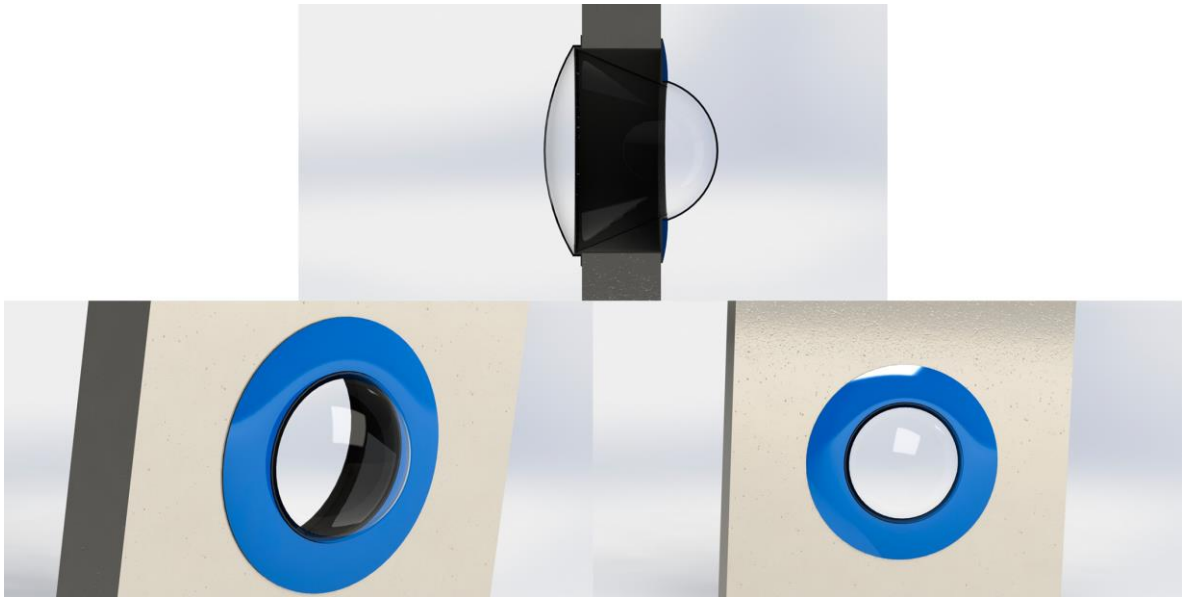


Ilustración 44. Alternativa #2. Fuente: Autora

Este lumiducto se desarrolló con cúpulas lisas y conducto cónico, teniendo en cuenta los modelos S5, S1 y C1.

Dimensiones:

Conductor: $\varnothing M=17\text{cm}$, $\varnothing m=10\text{cm}$, longitud= 12cm .

Recolector: $\varnothing=10\text{cm}$, altura= 10cm

Difusor: $\varnothing=17\text{cm}$, altura= 5cm

Materiales:

Conductor: aluminio pulido e 1mm

Recolector: policarbonato e 3mm

Difusor: policarbonato e 3mm

Carcasa: ABS e 2mm

Secuencia de instalación:

1. Insertar el conductor dentro del cuerpo.
2. Con ayuda del molde, realizar perforación en el muro
3. Insertar el cuerpo en la perforación
4. Colocar el difusor en el interior, el recolector en el exterior y atornillar

4.3.3. Alternativa 3

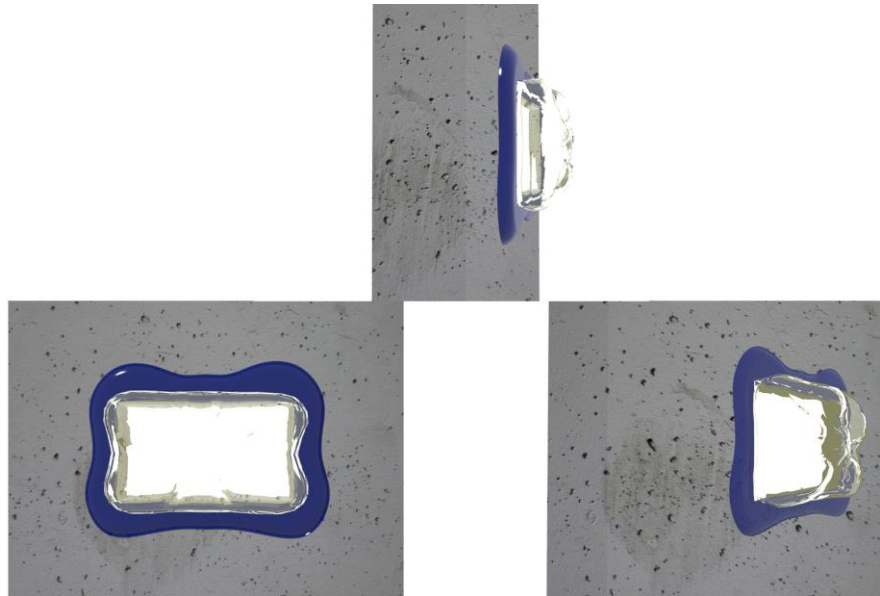


Ilustración 45. Alternativa #3. Fuente: Autora

Teniendo en cuenta los procedimientos y materiales utilizados en la construcción de las viviendas unifamiliares progresivas del INVISBU, se desarrolló un lumiducto del tamaño de un ladrillo E11, de manera que se facilita su instalación. Su recolector se basa en la forma orgánica de los modelos S4 y S2.

Dimensiones:

Conductor: 33x19cm, longitud=12cm.

Recolector: 33x19cm, altura= 10cm

Difusor: 33x19cm, altura=4cm

Materiales:

Conductor: aluminio pulido e1mm

Recolector: policarbonato e3mm

Difusor: policarbonato e3mm

Carcasa: ABS e2mm

Secuencia de instalación:

1. Insertar el conductor dentro del cuerpo

2. Limpiar el orificio previamente obtenido al omitir la colocación de un ladrillo.
3. Insertar el cuerpo en el orificio
4. Colocar el difusor en el interior, el recolector en el exterior y atornillar

4.3.4. Alternativa 4

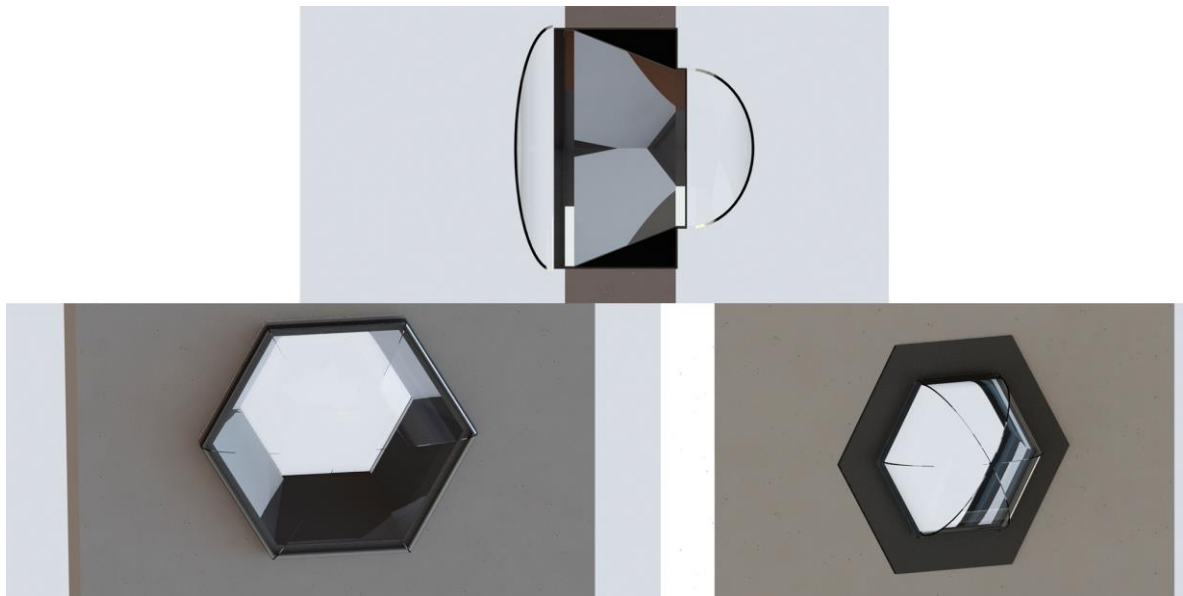


Ilustración 46. Alternativa #4. Fuente: Autora

La alternativa 4 es hexagonal y por lo tanto teselable. Según los requerimientos de iluminación de cada habitación, se instalan uno o más lumiductos en la pared, encajándolos uno al lado del otro.

Dimensiones:

Conductor: $\varnothing M=30\text{cm}$ longitud=12cm.

Recolector: $\varnothing=15\text{cm}$, altura= 8cm

Difusor: $\varnothing=30\text{cm}$, altura=5cm

Materiales:

Conductor: aluminio pulido e1mm

Recolector: policarbonato e3mm

Difusor: policarbonato e3mm

Carcasa: ABS e2mm

Secuencia de instalación:

5. Insertar el conductor dentro del cuerpo.
6. Con ayuda del molde, realizar perforación en el muro
7. Insertar el cuerpo en la perforación
8. Colocar el difusor en el interior, el recolector en el exterior y atornillar

4.3.5. Alternativa 5

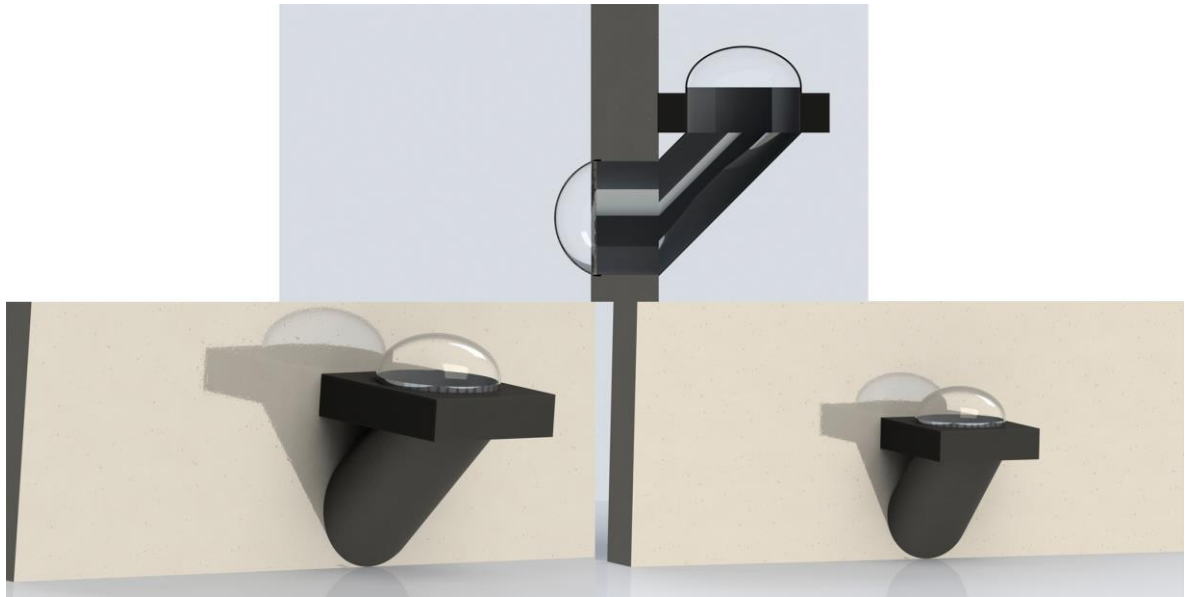


Ilustración 47. Alternativa #5. Fuente: Autora

Con el fin de mantener el recolector paralelo al suelo y aprovechar al máximo la luz solar, se construyó una placa que sostiene los diferentes componentes del lumiducto en posición.

Dimensiones:

Conductor: $\varnothing M=20\text{cm}$

Recolector: $\varnothing=29\text{cm}$, altura= 8cm

Difusor: $\varnothing=17\text{cm}$, altura=8cm

Materiales:

Conductor: aluminio pulido e1mm

Recolector: policarbonato e3mm

Difusor: policarbonato e3mm

Carcasa: ABS e2mm

Secuencia de instalación:

1. Instalar placa base en el exterior
2. Colocar el recolector sobre la base y atornillar
3. Con ayuda del molde, realizar la perforación en el muro teniendo en cuenta la posición inclinada del conductor.
4. Insertar el conductor dentro de la carcasa
5. Colocar el conductor en posición, desde la base hasta el muro.
6. Colocar el difusor y atornillar.

4.3.6. Alternativa 6

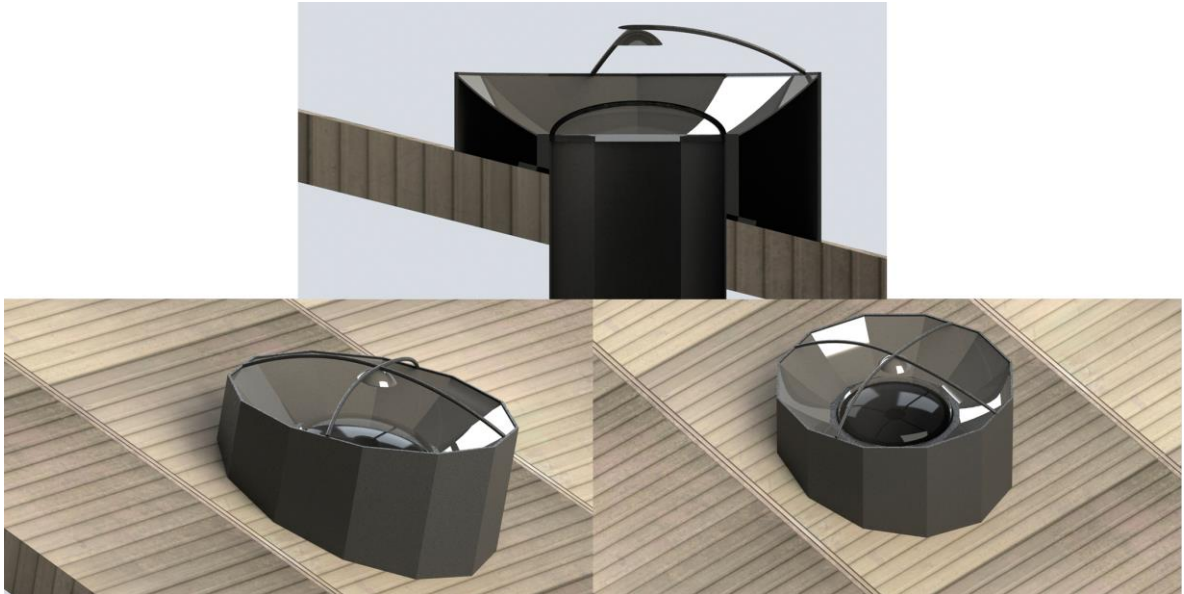


Ilustración 48. Alternativa #6. Fuente: Autora

Este lumiducto se diseñó con base al principio de reflectores parabólicos utilizado en las cocinas solares, de manera que se concentra la luz en un punto central y se envía por el conductor hacia el interior de la casa.

Dimensiones:

Reflector parabólico: $\varnothing=30\text{cm}$

Conductor: $\varnothing=10\text{cm}$

Recolector: $\varnothing=29\text{cm}$, altura= 8cm

Difusor: $\varnothing=10\text{cm}$, altura=4cm

Lista de piezas:

Conductor y reflector parabólico: aluminio pulido e1mm

Recolector: policarbonato e3mm

Difusor: policarbonato e3mm

Carcasa: ABS e2mm, pvc 2mm

Secuencia de instalación:

1. Previo al armado de la placa de concreto del segundo piso, instalar el tubo pvc que marcará la posición del conductor.
2. Perforar la teja con ayuda del molde y teniendo en cuenta que este en línea con el tubo de pvc
3. Instalar el conductor
4. Introducir el reflector parabólico en la carcasa y fijar al tejado
5. Colocar el recolector y fijar
6. Verificar que el conducto esté vacío e instalar el difusor.

4.4. Filtrado de alternativas: Evaluación del desempeño lumínico

La función básica del elemento objeto de este proyecto es iluminar hogares. De manera que el desempeño de cada una de las alternativas realizando dicha tarea, es el requisito con mayor importancia a la hora de seleccionar la propuesta con la cual se continuará trabajando. Para evaluar el desempeño que cada alternativa tenía a la hora de iluminar las viviendas, se utilizaron herramientas de CAD, primero para modelar las propuestas y posteriormente para recrear su funcionamiento.

Utilizando el plug-in VRay, para 3DMax, se logró simular la forma en que actuarían las alternativas expuestas a la luz natural. Para ello primero se modelaron y ensamblaron cada una de las propuestas y luego se instalaron en una vivienda unifamiliar progresiva. Posteriormente se agregó a la escena un sistema de iluminación natural, conocido como “Daylight System”. Dentro de dicho sistema se ingresaron los valores de altitud, latitud y fechas, correspondientes a la ciudad de Bucaramanga en el año 2014. Para finalizar, se hizo uso de la herramienta “VRayLightMeter”, la cual permite crear un plano en la escena y obtener los valores de iluminancia correspondientes a su posición.

4.4.1. Variables

Para la correcta simulación de cada una de las alternativas, fue necesario introducir algunas variables en el software.

- **Altitud, Latitud, Ángulo azimut:** V-Ray permite simular la iluminación para una localidad específica, para ubicarla se debe introducir estos datos que darán precisión a los cálculos.
- **Hora:** Para dar más precisión a la simulación, el software permite introducir la hora del día, para este caso se utilizó el medio día, para descartar cualquier tipo de sombras que pudieran bloquear la luz que llega a la casa.
- **Índice de reflexión:** A los materiales de las piezas que se encargan de reflejar la luz, se les debe asignarles un valor adecuado para dicho fin.
- **Índice de refracción:** Al igual que para las anteriores piezas, para las que refractan la luz es importante asignar un valor adecuado para dicho fin.

4.4.2. Resultados

Los valores obtenidos en esta evaluación serán tenidos en cuenta en el paso siguiente, en el cual se evalúan las alternativas con respecto a los requerimientos de producto. Para ver la distribución de iluminación obtenida por cada alternativa dirigirse a anexo

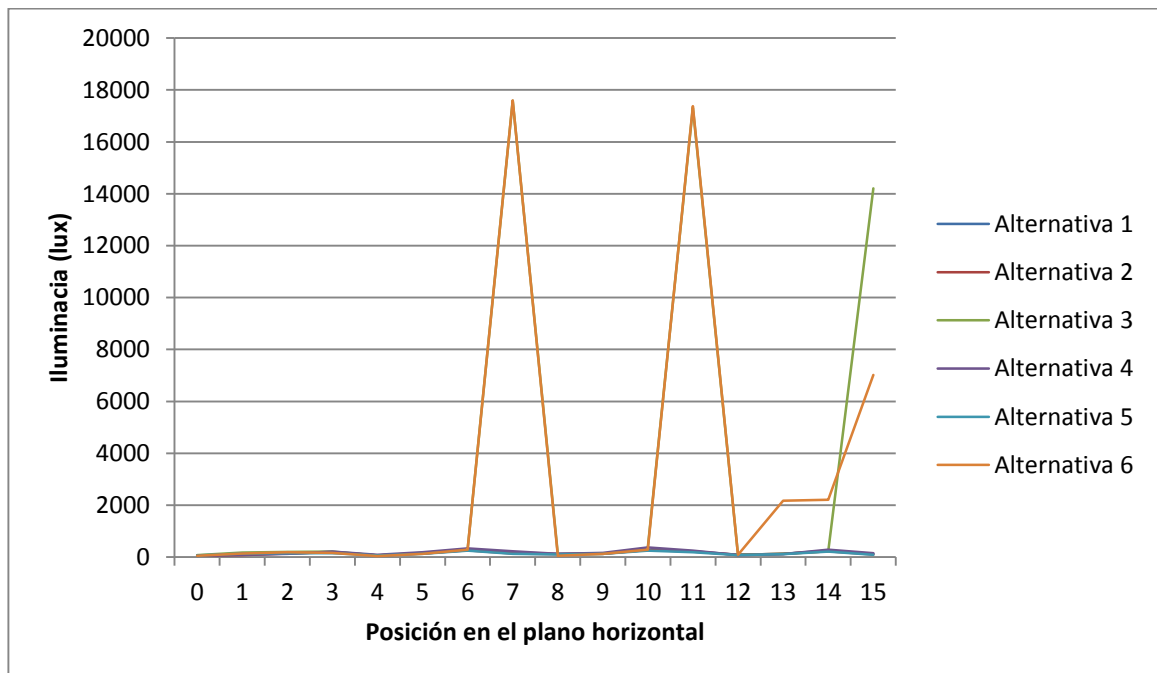


Ilustración 49. Iluminancias registradas por cada alternativa según V-Ray LightMeter. Fuente: Autora

4.5. Filtrado de conceptos

Teniendo en cuenta las necesidades de usuario y los fundamentos técnicos obtenidos en la fase de interpretación de datos, se elaboró una matriz de selección con la cual la autora realizó una evaluación relativa de los conceptos respecto a un producto ideal (Solatube 160DS). En la matriz se evaluaba si el concepto era “mejor que” (+), “igual a” (0), o “peor que” (-). Al final se sumó una unidad por cada “+”, se restó una por cada “-”, y se mantuvo la sumatoria con cada “0”.

Tabla 4. Filtrado de alternativas. Fuente: Autora.

Criterio	1	2	3	4	5	6
Capacidad para iluminar el salón múltiple de las VIS	-	0	0	+	+	+
Fácil mantenimiento	+	+	+	+	+	+
Resistencia al ambiente	0	0	0	0	0	0
Dimensiones adecuadas para una VIS	+	+	+	+	+	+
Reposición de piezas averiadas	-	+	+	+	0	0
Funciona independientemente	0	0	0	0	0	0
Luce como pieza ornamental	+	+	+	+	-	+
Fácil limpieza	+	+	+	+	+	+
Total +	4	5	5	6	4	5
Total -	1	0	0	0	1	0
Total 0	2	3	3	2	3	3
Total neto	3	5	5	6	4	5
¿Continúa?	No	Si	Si	Si	Revisar	Si

Los conceptos 2, 3, 4 y 6 son aprobados para continuar a la siguiente evaluación. El concepto 5 requiere de una revisión en su aspecto estético antes de poder continuar evaluándolo.

4.6. Evaluación con expertos

Durante la comprobación se estableció una serie de criterios de evaluación para las alternativas basados en los requerimientos del producto. Esta evaluación se llevó a cabo haciendo tangibles las alternativas utilizando herramientas de modelado CAD, y permitió no solo seleccionar la alternativa final, sino también los aspectos rescatables de los otros conceptos que servirán para su refinamiento.

Para esta actividad se contó con la participación de un grupo de expertos conformado por un representante de cada una de las áreas involucradas en el proyecto. Se realizó una presentación que inicialmente contextualizaba a

los evaluadores dentro del proyecto, se les presentaban los productos existentes en el mercado y finalmente se explicaba cada una de las alternativas. Luego se indicaban los criterios a evaluar y se les dirigía hacia el formulario donde realizarían la evaluación. Para finalizar, se les pidió a los expertos que brindaran sus comentarios y sugerencias para cada una de las alternativas, ya que el aporte que pueden realizar personas externas al proyecto pero con conocimiento del tema, es sumamente valioso.

4.6.1. Perfil de los evaluadores

- **Pedro Pablo Vergara:** Estudiante de Maestría en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Estatal de Campinas. Tiene experiencia en el diseño de micro redes utilizando energías renovables.
- **Miriam Lechuga:** Diseñadora Industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Experiencia en diseño centrado en las características de una localidad
- **German Pallares:** Arquitecto de la Universidad Santo Tomás. Experiencia en el diseño de viviendas de interés social.
- **Christian Villamizar:** Ingeniero Civil de la Universidad Industrial de Santander. Experiencia en residencia de obras civiles.

4.6.2. Criterios de evaluación

Teniendo en cuenta las importancias de los requerimientos, se establecieron 4 aspectos principales para que los evaluadores juzgaran las alternativas. Adicionalmente, se estableció un valor de importancia y una escala cualitativa asociada a un valor numérico para cada criterio.

Tabla 5. Calificación de los expertos para cada criterio. Fuente: Autora.

Criterio	Importancia	Cualitativo	Cuantitativo
Desempeño lumínico	4	Excelente	5
		Sobresaliente	4
		Aceptable	3
		Insuficiente	2
		Deficiente	1
Dimensiones	3	Muy acertada	5
		Acertada	4
		Medianamente acertada	3
		Poco acertada	2
		Inacertada	1
Instalación	2	Exageradamente fácil	5
		Fácil	4
		Medianamente fácil	3

		Levemente fácil	2
		Nada fácil	1
Atractivo visual	1	Muy agradable	5
		Agradable	4
		Medianamente agradable	3
		Poco agradable	2
		Nada agradable	1

- **Desempeño lumínico.**

Se realizaron pruebas para conocer el desempeño de las alternativas en el software VRAY, utilizando sus herramientas de iluminación natural y medición de luz. Se estableció un ideal de 250 lx de iluminancia en el salón múltiple, que es la zona donde los habitantes pasan la mayoría de tiempo y realizan actividades que requieren de iluminación de precisión (leer, cocinar, escribir, coser).

- **Proporcionalidad.**

Una característica clave de las viviendas de interés social es su tamaño reducido, rasgo que obedece a la necesidad de los constructores de economizar costos de materiales y terreno. Por esta razón es importante que los productos que se diseñen para este tipo de viviendas se ajusten a sus dimensiones sin quitar espacio a sus habitantes.

- **Proceso de instalación.**

Las viviendas de interés social son construidas masivamente a velocidades altas, lo que significa que todos los accesorios que allí se instalen deben ser sencillos,

- **Atractivo visual.**

Teniendo en cuenta que la forma y configuración de las viviendas de interés social es genérica, los productos que en ellas se instalen desde su construcción deben guardar coherencia con esta característica, con el fin de mantener una armonía en el diseño de la VIS.

4.6.3. Interpretación de resultados

Para finalizar la evaluación de las alternativas se tabularon las respuestas teniendo en cuenta el valor numérico correspondiente al valor cualitativo que los evaluadores dieron a cada una de las propuestas. En la siguiente tabla se presenta frente a cada criterio, el valor total (correspondiente a la sumatoria de las calificaciones de todos los evaluadores), el valor total ponderado y el

valor total obtenido por cada alternativa. Este último valor es el que se tiene en cuenta para la selección de la alternativa.

Tabla 6. Resultados de la evaluación de los expertos. Fuente: Autora

Criterio	Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5		Alternativa 6	
	Tota l	Ponderad o	Tota l	Ponderad o	Tota l	Ponderad o	Tota l	Ponderad o	Tota l	Ponderad o
Desempeño lumínico	9	36	8	32	12	48	12	48	12	48
Dimensiones	13	39	14	42	12	36	10	30	14	42
Instalación	10	20	13	26	9	18	5	10	9	18
Atractivo visual	13	13	11	11	14	14	8	8	13	13
Total	45	108	46	111	47	116	35	96	48	121

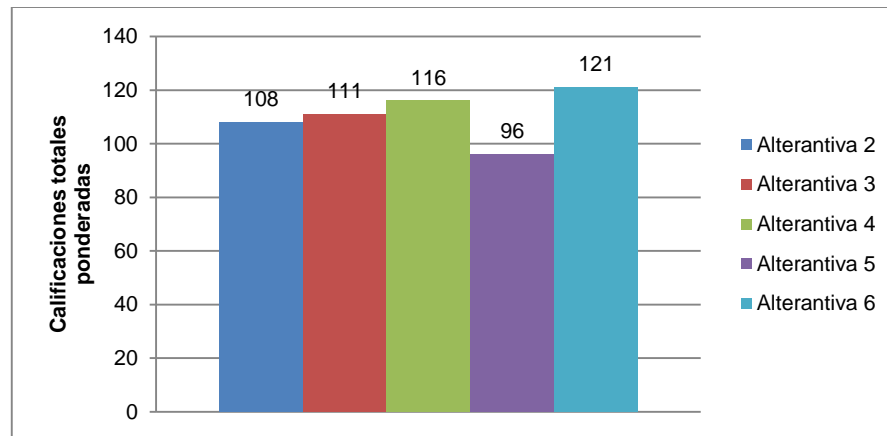


Ilustración 50. Calificación ponderada de cada alternativa. Fuente: Autora

En los resultados se halló una muy mínima diferencia entre las alternativas 2, 3, 4 y 6 antes de realizar la ponderación de los valores, de manera que haber establecido inicialmente una escala de prioridades para cada criterio, permitió que la alternativa 6 sobresaliera notablemente. Tal hecho, llevo a la decisión de continuar trabajando con esta alternativa.

La retroalimentación proveniente de los evaluadores en la sección de “comentarios y sugerencias” del formulario, indica aspectos importantes a mejorar de la alternativa 6 en la fase de arquitectura del producto.

- Mantenimiento
- Simplificación de la instalación
- Acumulación de elementos en el reflector parabólico

4.7. Prueba de concepto

4.7.1. Objetivo

Observar el comportamiento de un sistema recolector parabólico basado en el diseño de las cocinas solares y los telescopios cassegrain.

4.7.2. Herramientas

Luxómetro (instrumento de medición). Tablas para registro de datos. Cámara fotográfica.

4.7.3. Materiales

Modelo del dispositivo:

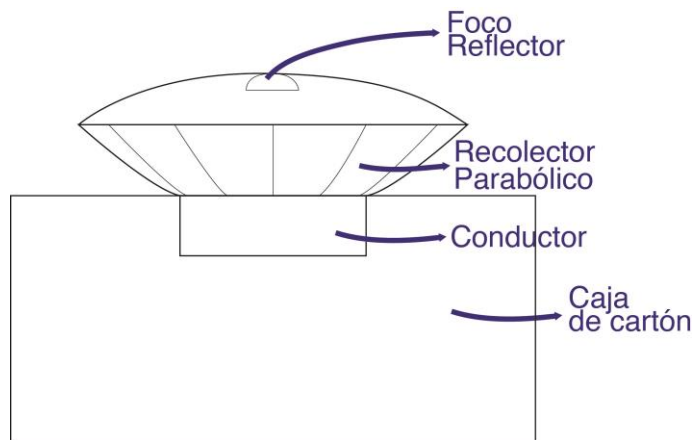


Ilustración 51. Esquema del modelo funcional. Fuente: Autora

Caja de cartón de 61,5x75x37,5 cm. Modelo funcional.

4.7.4. Modelo funcional

Siguiendo las indicaciones establecidas para el cálculo de los telescopios cassegrain, se diseñó un sistema compuesto por dos reflectores. El primero con forma parabólica, recibe y concentra los rayos del sol en el segundo, el cual tiene forma hiperbólica y redirige los rayos hacia un punto fijo, ubicado un par de centímetros más abajo del centro de la parábola.

Se construyó un modelo del sistema utilizando cartón y madera como base para la estructura formal, y aluminio para generar la superficie reflectante.

Como conductor se utilizó un cilindro de aluminio de 4,83cm de diámetro y 30 cm de longitud. Dicho tubo se insertó en el centro de la cara superior de la caja.

En la cara inferior de la caja se dibujó una retícula de 15,4x9,4 cm, y en cada centro se perforó un círculo de 2,2 cm de diámetro, dentro del cual encaja el sensor del luxómetro.

4.7.5. Variables

Recolector: El recolector es la parte inicial del dispositivo de iluminación natural, para este caso se probaron dos de tipo pasivos, uno sencillo y otro con un reflector parabólico.

Iluminancia: es la cantidad de luz que incide sobre una superficie, por lo tanto representa la cantidad de luz al interior de la caja captada por el luxómetro.

4.7.6. Procedimiento

Para validar la efectividad del sistema se enfrentó el conductor funcionando solo, contra el conductor integrado con el sistema cassegrain. Para ello se creó una base para la caja, en el patio central del Centro Cultural del Oriente.

Se colocó la caja de cartón sobre la base, en primer lugar con el conductor únicamente. Se insertó el luxómetro en cada uno de los 9 orificios ubicados en la parte inferior de la caja y se registraron los valores de iluminancia en un formato de registro de datos. Luego se instaló el sistema cassegrain, en el centro de la caja, uniéndolo al conductor y se repitió el procedimiento de recolección de datos efectuado anteriormente.

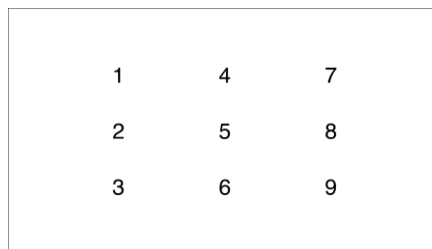


Ilustración 52. Distribución de los orificios en la cara inferior de la caja. Fuente: Autora.

4.7.7. Datos recopilados

Tabla 7. Resultados prueba de concepto. Fuente: Autora.

#	Sin Cassegrain	Con cassegrain	%incremento
1	27	87	222
2	20	61	205
3	23	44	91
4	39	103	164
5	46	144	213
6	30	86	186

7	20	68	240
8	13	59	353
9	10	57	470

$$\% \text{incremento} = \frac{\text{valor final} - \text{valor inicial}}{\text{valor inicial}} * 100$$

4.7.8. Conclusiones

Evidentemente la iluminancia al interior de la caja mejoró al instalar el sistema cassegrain. Se obtuvieron incrementos entre un 91 y un 470%. Esto muestra la eficacia del recolector, sin embargo no se cuenta aún con una iluminancia constante. Se observan áreas centrales con niveles aceptables de iluminación y otras, hacia las esquinas de la caja, con niveles muy bajos. Se asume que esta distribución poco uniforme de la luz, corresponde a la ausencia de un difusor en el sistema.

5. ETAPA 3: ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

5.1. Consulta con experto: Arturo Plata

Nuevamente se recurrió a Arturo Plata, en esta oportunidad, el objetivo era consultar acerca de los cálculos específicos y el funcionamiento del diseño seleccionado.

La geometría de la alternativa 6, según Arturo, es similar a la de los telescopios y sistemas ópticos “Cassegrain”. Por lo tanto, sugiere que se realice su construcción, basada en dicha geometría, para explicar su cálculo realiza el siguiente diagrama:

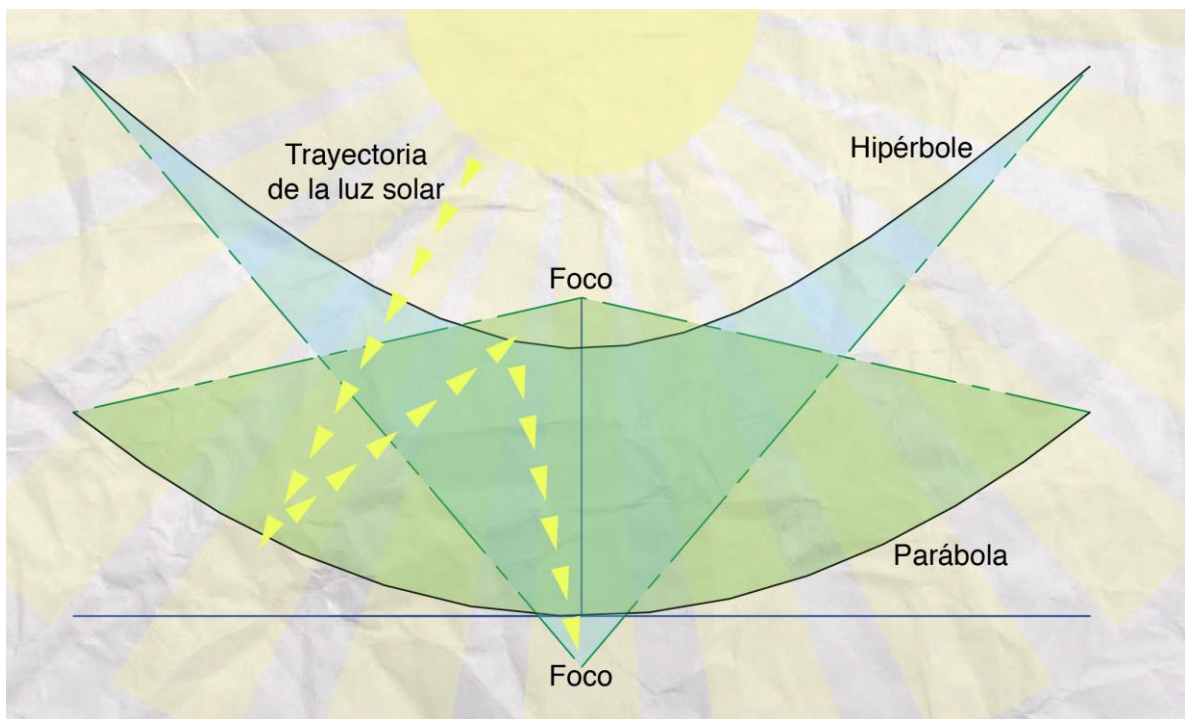


Ilustración 53. Geometría para el diseño de un sistema Cassegrain. Fuente: Autora.

Como se observa, los sistemas Cassegrain, se componen de una parábola cuya trayectoria ha sido intersectada por el de una hipérbola y que con ello completa su trayectoria hacia el foco. Ambos volúmenes deben contar con una superficie reflectante que permita que los rayos viajen de una a otra.

Posteriormente se consultó sobre la forma correcta de hermetizar el recolector, ya que es un factor importante dado que en los requisitos se establece que el sistema debe estar sellado, de manera que se impida que tanto suciedad, como seres vivos y materiales extraños, ingresen a la vivienda. Respecto a este tema, se sugiere que se selle el sistema con un

cristal plano sobre el recolector parabólico, que no interfiera en el ángulo en el que los rayos inciden en los reflectores.

5.2. Sistema óptico Schmidt-Cassegrain (SCT)

Es un sistema óptico utilizado en la construcción de telescopios. Combina superficies reflectantes, por lo que se conoce como telescopio compuesto. Su especial diseño permite tener lentes de óptica de gran tamaño mientras que mantiene una longitud de tubo muy corta, lo que facilita su transporte. (Celestron, LLC, 2011)

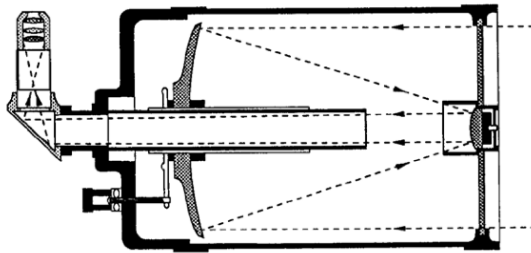


Ilustración 54. Vista de la trayectoria de la luz del diseño óptico del Schmidt-Cassegrain. Fuente: Celestron, LLC

Teniendo en cuenta las sugerencias de los expertos, las ventajas de los reflectores SCT, y los resultados de la prueba de concepto, se realizó un diseño de reflectores basado en dicho sistema óptico, para ver los detalles, dirigirse a anexo G. Para el diseño del reflector, se realizaron los cálculos en el software Antenna Design, donde al introducir el diámetro y profundidad deseadas, se obtuvo la ecuación para la construcción de una superficie parabólica. Seguido a eso, se calculó una hipérbola que se intersecara con la trayectoria focal del reflector y de esta forma se obtuvo el subreflector.

5.3. Esquema del producto

Se elaboró un esquema con el fin de agrupar los diferentes componentes del sistema según su funcionamiento, buscando hallar los aspectos claves de cada una de las partes e ilustrar el flujo de luz a través del sistema.

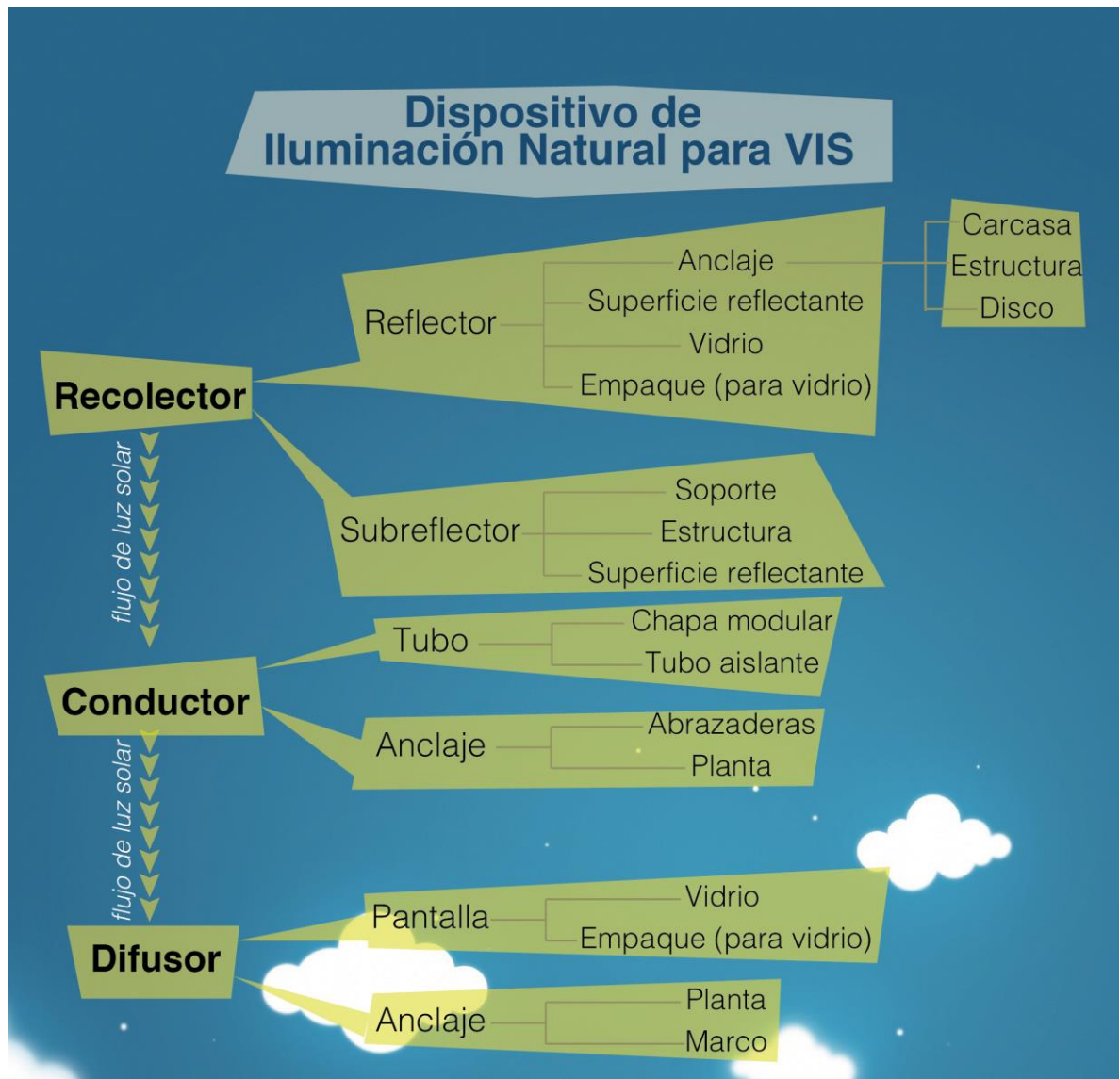


Ilustración 55. Esquema del producto. Fuente: Autora.

A continuación se presentan imágenes renderizadas del producto terminado, instalado en la vivienda tipo.

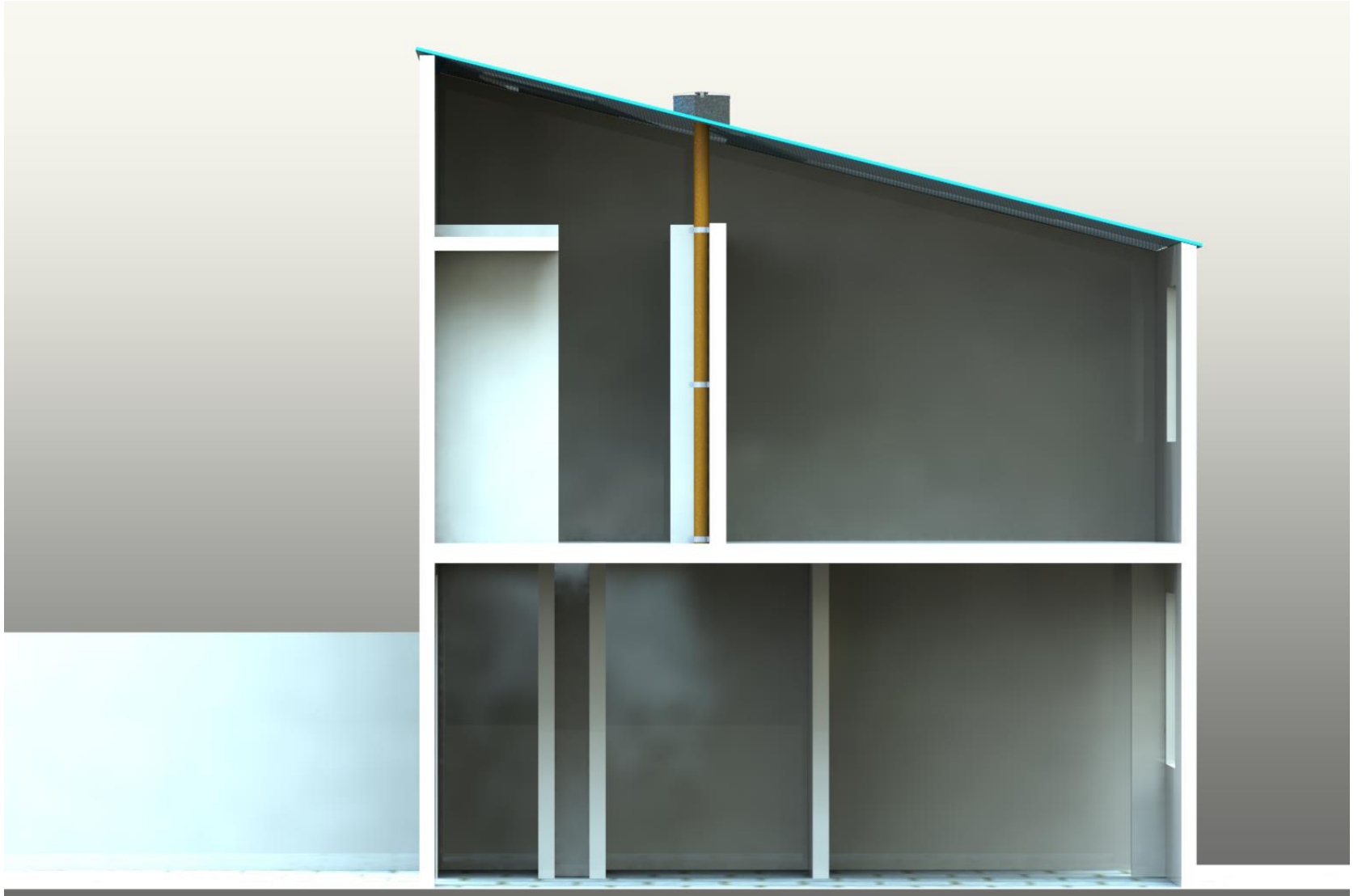


Ilustración 56. Vivienda con Solux instalado. Fuente: Autora.

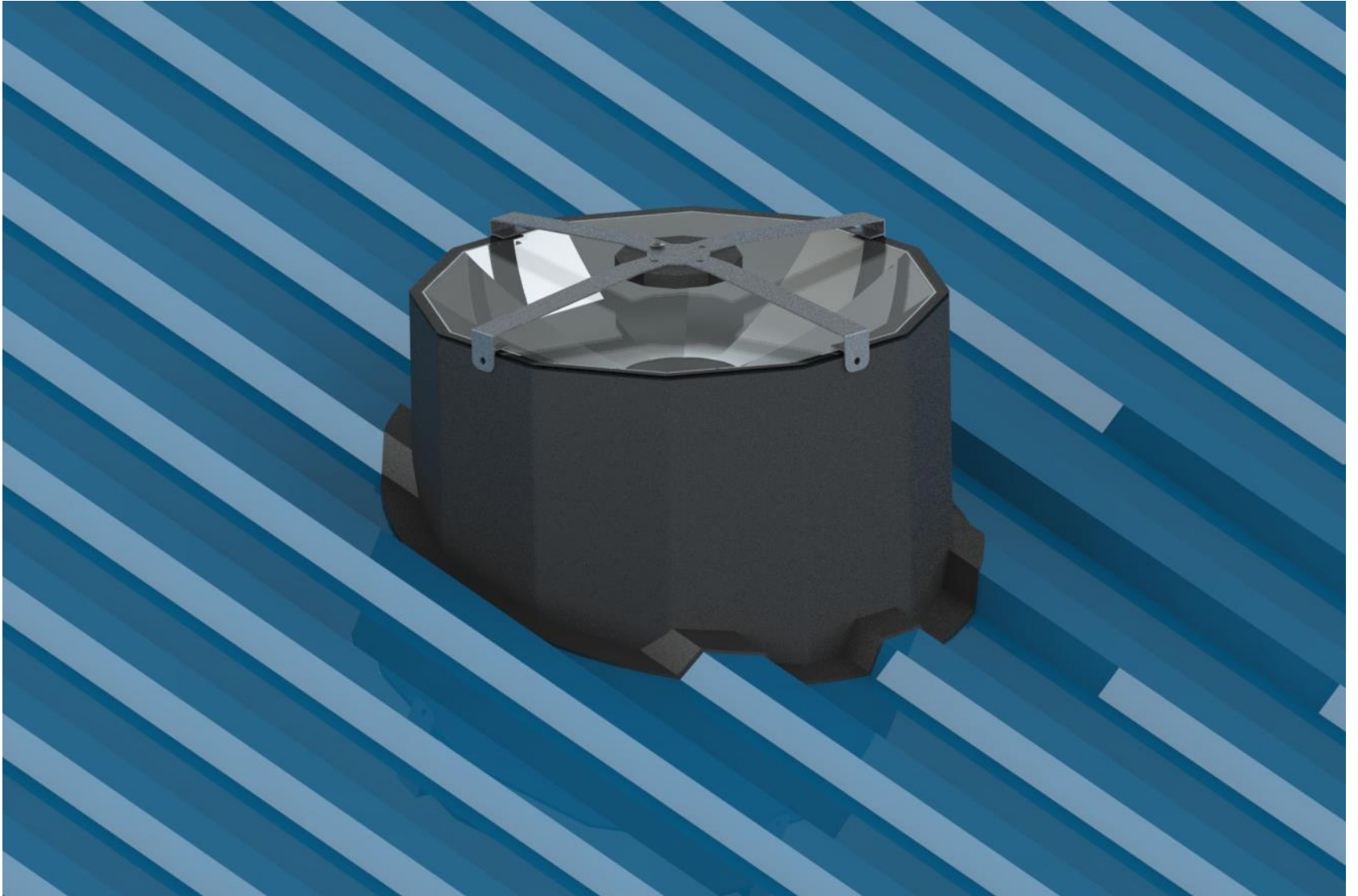


Ilustración 57. Vista recolector. Fuente: Autora.

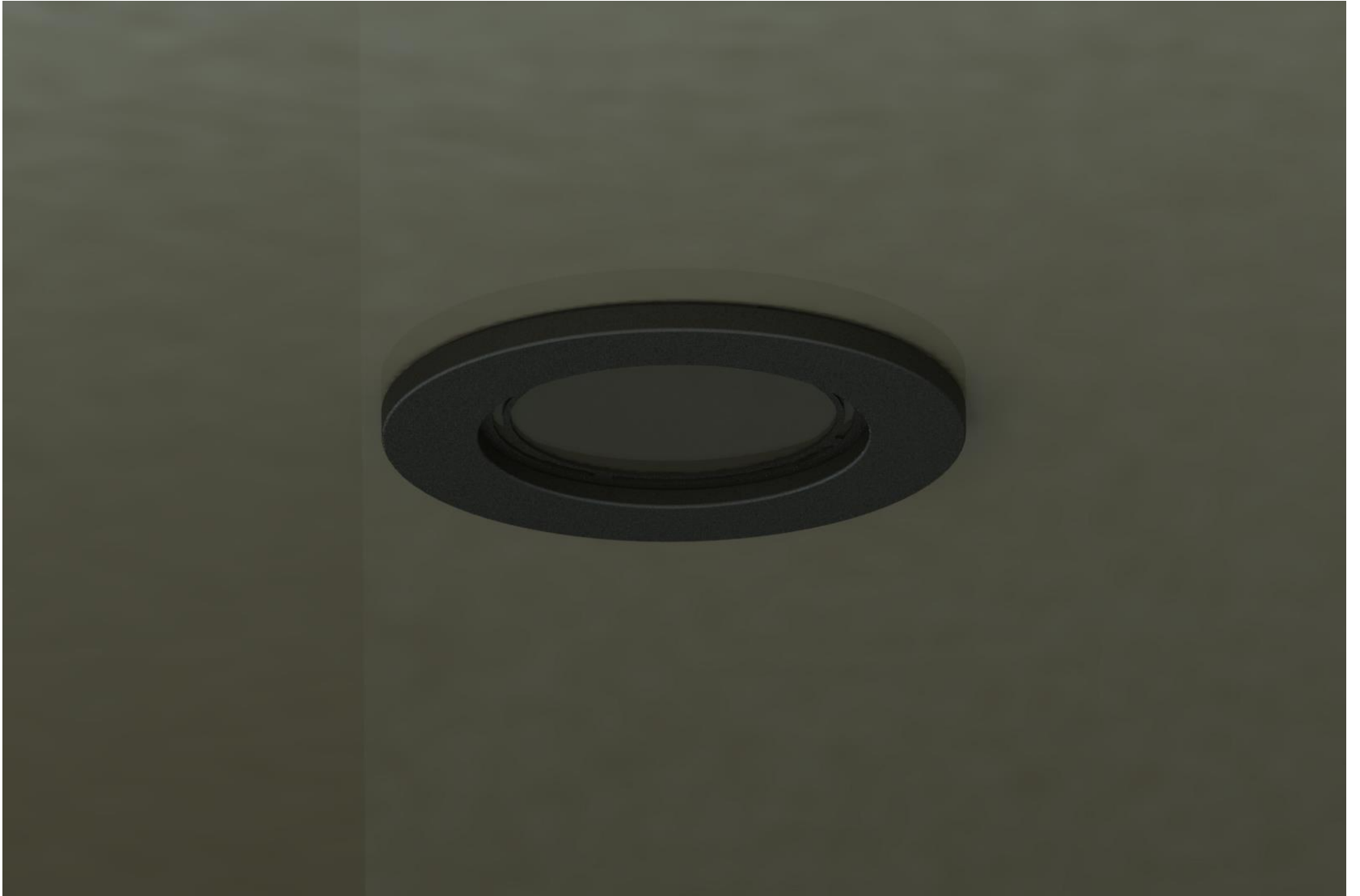


Ilustración 58. Vista difusor. Fuente: Autora.

5.4. Recolector

El recolector se divide en dos partes, un reflector con forma parabólica y un subreflector en forma hiperbólica. Cuenta con una configuración especial para anclarse a la lámina termoacústica utilizada para entechar las viviendas. Se incluye un vidrio, con sus respectivos cierres herméticos, con el objetivo de sellar el ingreso de cualquier materia extraña al sistema de conducto.

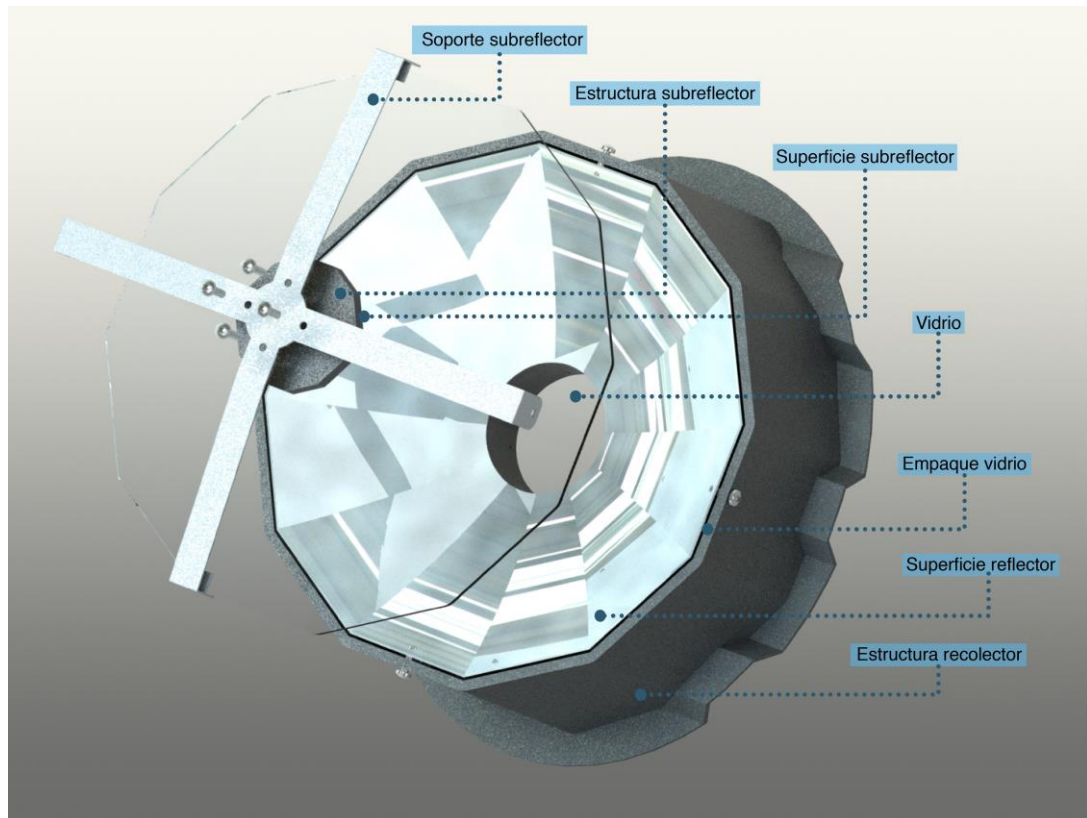


Ilustración 59. Vista explosionada recolector. Fuente: Autora.

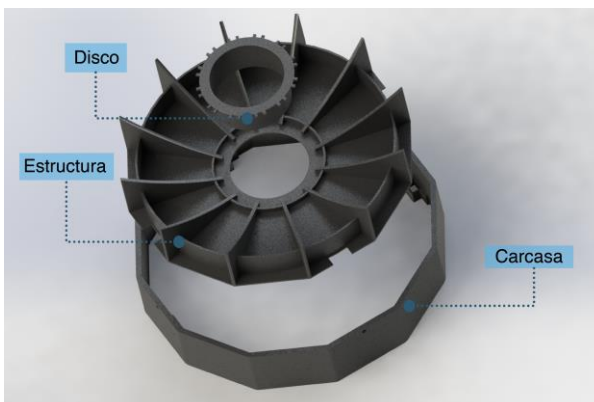


Ilustración 60. Vista explosionada anclaje recolector. Fuente: Autora.

5.4.1. Estructura recolector

Cumple con las siguientes funciones:

- Anclar el dispositivo al tejado: Su geometría se adapta al perfil de las láminas termoacústicas utilizadas en el techo, adicionalmente cuenta con un sesgo en su parte inferior por medio del cual la pieza se fija con tornillos.
- Soportar la superficie reflectante del reflector: A través de 12 perfiles parabólicos, sostiene la superficie reflectante, fijándola y garantizando que conserve su forma.
- Sostener el vidrio: Un marco exterior sostiene el cristal que sella el recolector.
- Sostener el soporte del subreflector: En 4 puntos distribuidos equidistantes sobre su superficie horizontal, la pieza cuenta con 4 orificios para fijar con tornillos el soporte del subreflector.

5.4.2. Superficie reflector

La superficie del reflector se compone de 12 chapas metálicas que se fijan a la estructura del recolector por medio de remaches. La geometría de estas piezas fue calculada utilizando el software Pepakura Designer (ver anexo G), que permite obtener el desarrollo de infinidad de volúmenes.

5.4.3. Empaque vidrio

Es la pieza clave para garantizar el cierre hermético del dispositivo en su parte inicial, posee la forma dodecágona de la estructura.

5.4.4. Vidrio

En conjunto con el empaque, sellan el recolector evitando que seres vivos o materias extrañas ingresen a la vivienda. Se fija con tornillos a la estructura del recolector.

5.4.5. Soporte subreflector

Se compone por 4 láminas de aluminio que entre sí conforman una estructura de cruz de 90°. Cumple con la función de fijar el subreflector y el vidrio a la estructura a través de tornillos.

5.4.6. Estructura subreflector

Es una pieza sobre la cual se fija la superficie reflectante del subreflector, para ello cuenta con 12 perfiles hiperbólicos. Esta a su vez se fija al soporte por medio de tornillos.

5.4.7. Superficie subreflector

Al igual que la superficie del reflector, la superficie del subreflector se compone de 12 chapas metálicas. Se fija a la estructura del subreflector por medio de remaches. Al igual que la superficie del reflector, su geometría fue calculada utilizando el software Pepakura Designer (ver anexo G).

5.5. Conductor

Se conforma por medio de 3 tubos cada uno de 1m de longitud. Se unen entre sí a través de remaches. El conjunto de toda la tubería se ancla a la vivienda en 3 extremos, en la parte superior, se une al anclaje del recolector, en la parte inferior se une al anclaje de la planta, y en el medio, se fija a los muros de la vivienda por medio abrazaderas.

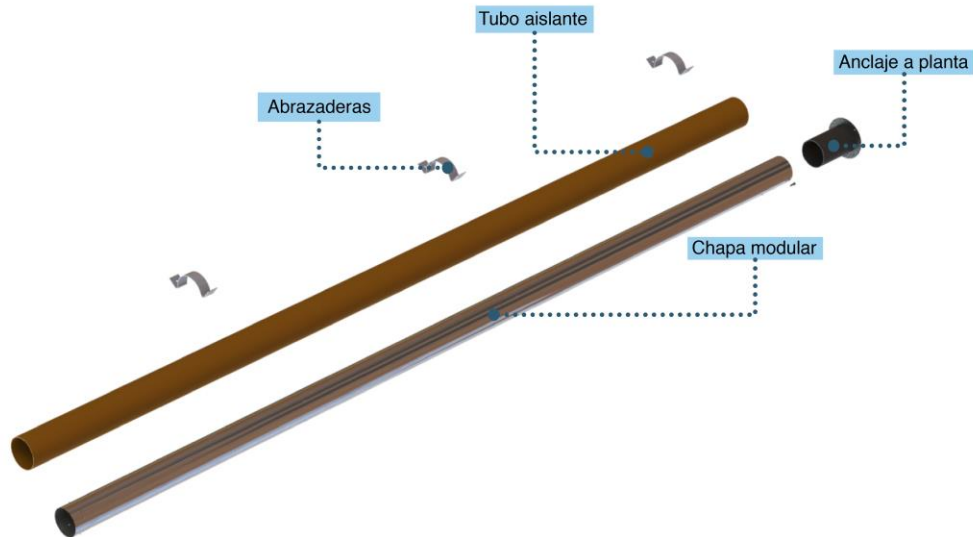


Ilustración 61. Vista explosionada conductor. Fuente: Autora.

5.5.1. Chapa metálica

Es una pieza preformada que se enrolla sobre si misma para crear los tubos que conforman el conductor del dispositivo. Se fija sobre si misma, y a los demás tubos con remaches.

5.5.2. Tubo aislante

Teniendo en cuenta que el tubo conductor puede alcanzar altas temperaturas por la transmisión de la radiación solar, se utiliza un tubo para mantener aislado dicho efecto y así brindar seguridad a los usuarios.

5.5.1. Abrazadera

Se encarga de mantener el tubo central fijo sobre una de las paredes de la vivienda. Tiene un diámetro de 4”.

5.5.2. Anclaje a planta

Es la pieza con la cual se unirán el conductor y el difusor. Está fija en la planta del segundo piso de la vivienda y a ella se fija la tubería del conducto con tornillos.

5.6. Difusor

El difusor se fija al anclaje de la planta, y cuenta con un cierre hermético que termina de sellar el sistema.

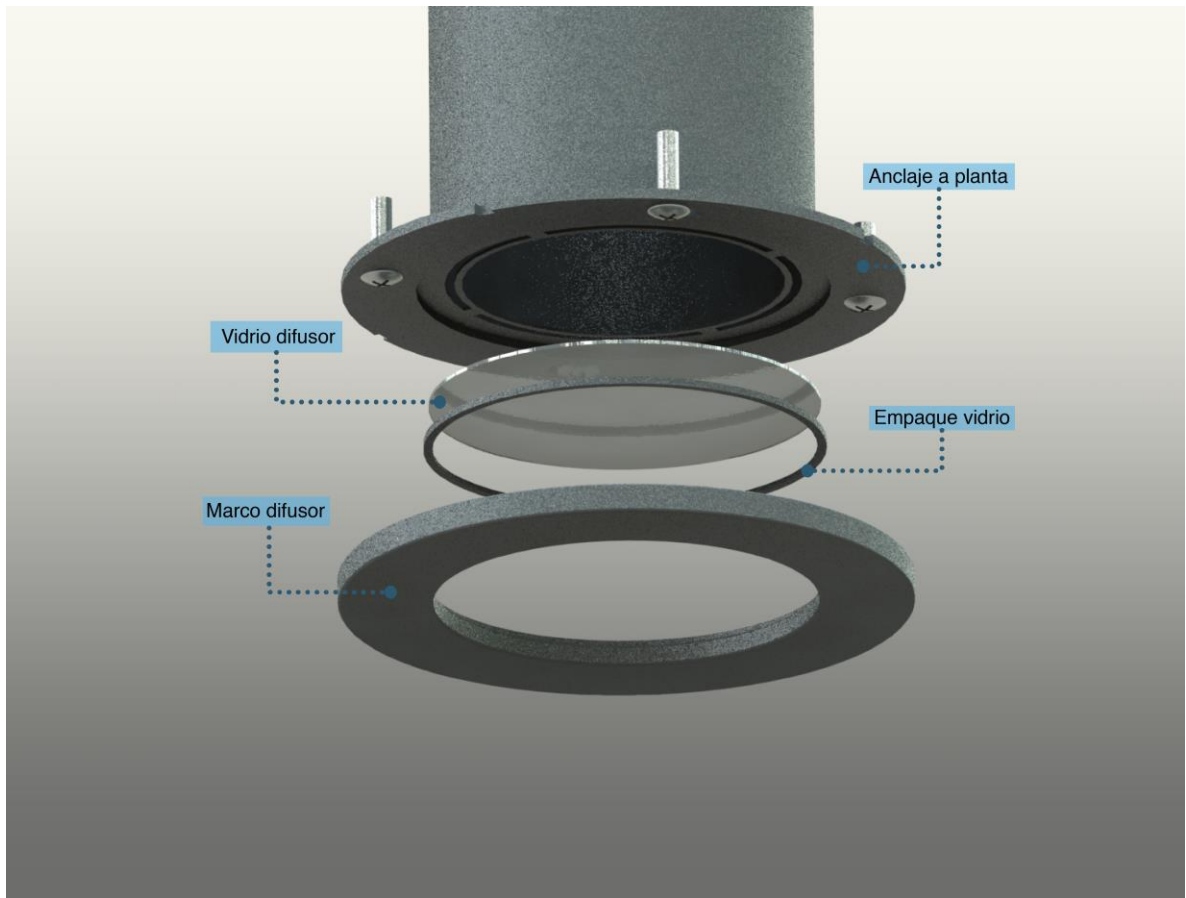


Ilustración 62. Vista explosionada difusor. Fuente: Autora.

5.6.1. Soporte difusor

Tiene forma circular y se enrosca sobre el anclaje del conducto y a este a su vez se fijan el resto de las piezas del difusor.

5.6.2. Marco difusor

Se encarga de sostener el vidrio y fijarlo al soporte, por eso tiene unos orificios para introducir la tornillería necesaria para este fin.

5.6.3. Vidrio

Es la pieza clave del difusor, para ello se seleccionó el vidrio esmerilado, un material que difunde la luz sobre toda su superficie.

5.6.4. Empaque vidrio

Para garantizar el cierre hermético del dispositivo es necesario incluir un anillo de caucho que hace el empalme entre el vidrio y el resto de la estructura del difusor.

5.7. Selección de materiales

Teniendo en cuenta que el producto cuenta con piezas destinadas a funciones muy similares entre sí, y que por ende requieren de materiales con determinadas características, se agruparon nuevamente las piezas por su función como se observa en la ilustración 63.



Ilustración 63. Piezas de Solux agrupadas según su función. Fuente: Autora.

5.7.1. Reflexión de luz

Para garantizar una alta conducción de luz, es necesario contar con un material con un alto índice de reflectividad especular². Esta propiedad está

² La reflectividad especular es aquella en que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

presente en materiales muy brillantes, como el acero inoxidable, la chapa de aluminio, los espejos de vidrio y algunos plásticos.

El caso óptimo para la elección del material reflectivo para los concentradores solares se mide mediante el producto de la reflectancia espectral por el espectro solar, buscando que este producto sea máximo para el espectro de radiación térmica (Escudero, 2004). Teniendo en cuenta la disponibilidad de materiales en la región, se tomaron 3 tipos de láminas en consideración: aluminio, acero inoxidable y galvanizado. La decisión final se tomó con base a la reflectividad especular de cada uno.

PVC blanco	0,871	fibra de vidrio pintada de blanco	0,709
aluminio de alta reflectividad (verde)	0,839	espejo de vidrio de 2 mm	0,795
aluminio de alta reflectividad (rosado)	0,853	espejo de vidrio de 3 mm	0,754
aluminio de alta reflectividad (celeste)	0,820	espejo de vidrio de 4 mm	0,712
chapadur prepintado blanco	0,741	acero inoxidable	0,572
chapa galvanizada	0,588	mylar (Cuba)	0,833
chapa pintada de blanco nueva	0,582	papel de aluminio (Cuba)	0,799
chapa pintada de blanco envejecida	0,656		

Ilustración 64. Reflectividad global de algunos materiales. Fuente: (R. Echazú, 2000)

Como se puede observar, el aluminio tiene el producto más alto y se mantiene dentro del campo visible, por lo cual es el más apropiado para su aplicación en el proyecto. Para el dispositivo se seleccionó la **lámina de aluminio de 0,3mm de espesor**.

5.7.2. Sujeción y ensamble

El siguiente grupo de piezas corresponde a las que se destinan al anclaje del dispositivo y al ensamble con otras piezas del dispositivo. Para ello se requiere de un material que sea resistente al impacto, a la intemperie y que permita crear piezas con alto grado de detalle.

Del análisis de los productos existentes, se extrajo que el material más utilizado para estas funciones es el **ABS**. A continuación se presentan las propiedades del polímero seleccionado, las cuales se obtuvieron de un boletín publicado por una empresa española de accesorios para muebles, dicha información fue obtenida a partir de un análisis de laboratorio (Siim and Co., S.L., 2012).

Tabla 8. Propiedades ABS – POLIACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO. Fuente: Siim and Co., S.L.

Propiedades Físico-Mecánicas	
Alargamiento a la Rotura (%)	45
Coefficiente de Fricción	0,5
Módulo de Tracción (GPa)	2,1-2,4
Resistencia a la Tracción (MPa)	41,45
Resistencia al Impacto Izod ($J m^{-1}$)	200-499
Absorción de Agua -en 24 horas (%)	0,3-0,7
Densidad ($g cm^{-3}$)	1,05
Resistencia a la Radiación	Aceptable
Resistencia a los Ultra-Violetas	Pobre

5.7.3. Anclaje exterior

La pieza que une el recolector al techo de la vivienda estará expuesta a la intemperie y a altas temperaturas. Para ello se seleccionó el material que se utiliza comúnmente para chimeneas, cocinas y hornos: el acero aluminizado tipo 1. El mismo que es usado por los productos consultados en el estado del arte.

Las siguientes son las características del acero aluminizado tipo 1 (A463), se obtuvieron del sitio web de los proveedores GEORGE KOCH SONS, LLC.

Tabla 9. Datos del producto: Acero aluminizado tipo 1. Fuente: (George Koch Sons, LLC, 2014)

Características del Acero Aluminizado Tipo 1	
Resistencia a la corrosión	Tiene un desempeño superior comparado con los materiales recubiertos en zinc. Es resistente a la corrosión ambiental y por pulverización salina.
Formabilidad	Se puede utilizar para producir desde partes con curvas simples hasta partes con profundos detalles.
Reflectividad del calor	Tiene excelente reflectividad durante temperaturas inferiores a 420 °C, reflejando hasta un 80% del calor radiante que incide en él.
Propiedades en alta temperatura	Su resistencia efectiva al calor es de hasta 677 °C.

5.7.4. Refracción de luz

Dentro de las especificaciones del producto se definió que sería completamente cerrado, de manera que ninguna materia extraña entrara en la vivienda. Este tema se llevó a las consultas con los expertos y de ahí se concluyó que se debía utilizar una pieza plana que no interfiriera con la incidencia de los rayos del sol en sistema óptico Cassegrain.

Para ello se seleccionó el **vidrio templado de 3mm**, por su alto índice de resistencia al impacto y su de refracción de la luz.

5.7.5. Difusión de luz

Al igual que en el caso anterior, se acudió a los expertos para la selección del material del difusor. La sugerencia fue un material capaz de difundir la luz sobre toda su superficie, como el utilizado en las pantallas de los proyectores y telescopios: **Vidrio esmerilado de 2mm de espesor**.

5.7.6. Aislamiento térmico

El conductor atravesará longitudinalmente el segundo piso de la vivienda, y teniendo en cuenta que transportará radiación solar, se requiere aislar dicha pieza del contacto con quienes habitan la vivienda por su seguridad. El criterio de selección para el material fue tanto propiedades como costos, y por ello se optó por **tubería de PVC**.

5.7.7. Sujeción

Este conjunto de piezas se encarga de sujetar elementos del sistema a la vivienda, así como de unir entre si algunas de las piezas. Para este fin se requiere de un material en presentación de lámina que garantice resistencia y dé rigidez al sistema. El material seleccionado fue la **lámina de aluminio de 3mm de espesor**.

5.7.8. Hermeticidad

El sello hermético del sistema, en su parte inicial y final cumple con dos funciones, primero impedir la condensación de los rayos y segundo bloquear el ingreso de materias extrañas a la vivienda. Con base al análisis de los productos existentes, se optó por el **caucho** para este fin.

5.7.1. Productos comerciales

Dentro del ensamble del sistema se incluyen la utilización de piezas comerciales como tornillos y remaches.

5.8. Estimación de costos

Teniendo en cuenta que es importante garantizar un producto a un precio que genere utilidades adecuadas al fabricante y a la vez ofrecer un precio competitivo, se realizó una estimación general de costos. Tomando como referencia el modelo de costos de productos de Ulrich, se realizaron cotizaciones con el fin de establecer estimaciones altas y bajas de los artículos.

Para tener las mencionadas estimaciones altas y bajas, se acudió a fabricantes locales (Bucaramanga) y nacionales (Bogotá), con ellos se cotizó individualmente cada pieza. A continuación se presenta una tabla con el resumen de los costos de las piezas agrupadas por función. Se incluyó también un costo de ensamblaje, el cual se calculó con base al SLMMV, para la estimación alta se tomó como dos días, y la baja, un día.

Tabla 10. Modelo de costos. Fuente: Autora.

COMPONENTE	COSTOS	
	Alto	Bajo
Superficies reflectantes	17600	6300
Sujeción y anclaje	5940	5432
Anclaje exterior	55519	31306
Sujeción	10800	9100
Refracción de luz	25120	20994
Difusión de luz	1000	816
Aislamiento térmico	38700	22341
Hermeticidad	12000	10800
Ensamblaje	40100	20500
Total	206779	127589
Promedio	167184	

5.9. Proceso de Instalación

Durante la fase de indagación, se detecto la importancia de tener un dispositivo que se instale fácilmente durante la construcción. Siguiendo este hallazgo, se diseñaron las piezas de manera que limitan las decisiones que debe tomar el instalador a la hora de realizar su tarea, y es así como todas las piezas cuentan con las respectivas perforaciones para los elementos de sujeción, sean remaches o tornillos, dependiendo del caso.

Se elaboró un instructivo que ilustra paso a paso la secuencia de instalación del producto, la cual fue diseñada con el apoyo de los gestores del área de diseño de Tecnoparque-Sena y se puede observar a continuación.

Secuencia de instalación del producto



Solux
Volviendo a lo natural

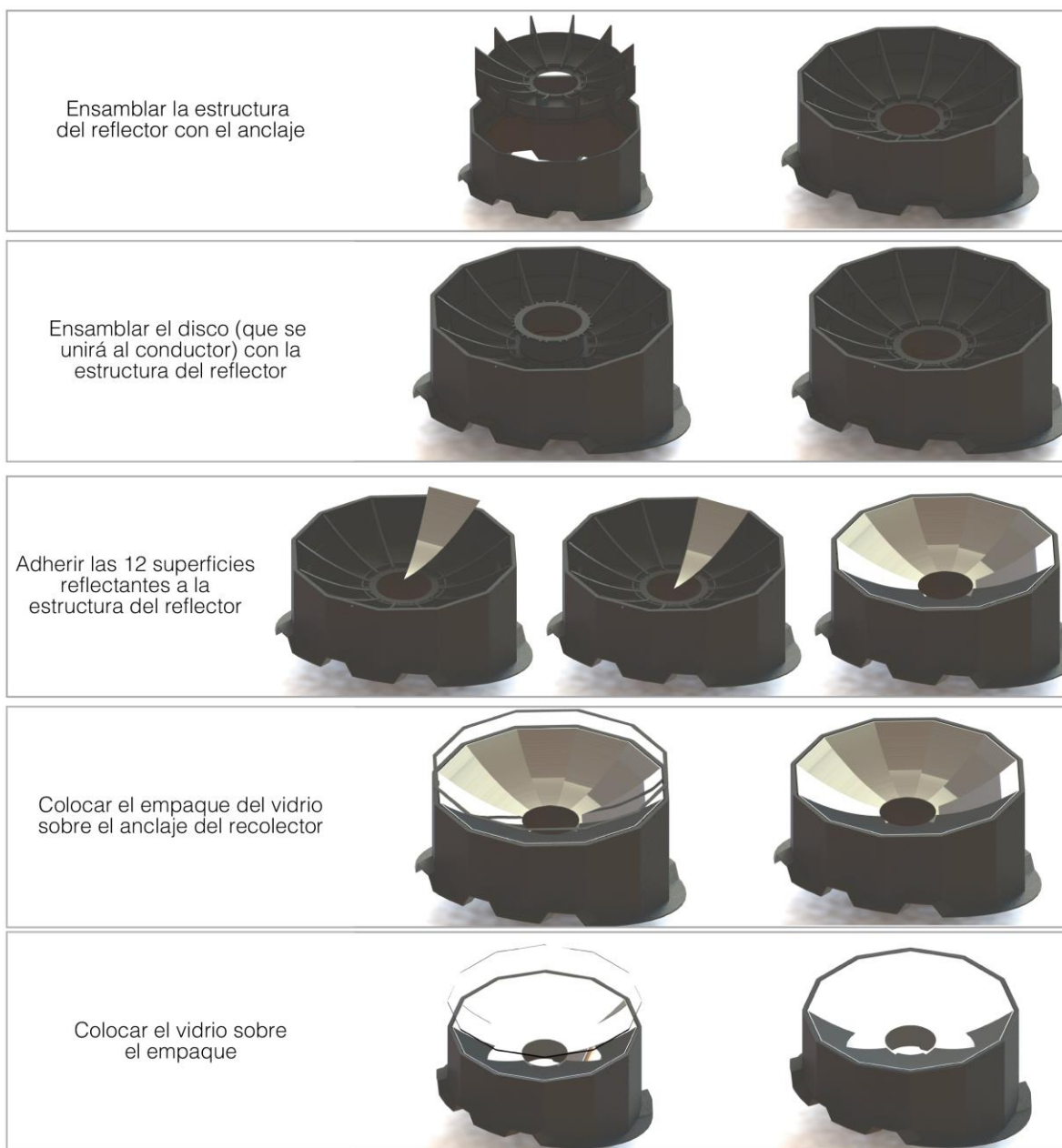


Ilustración 65. Instructivo de instalación (Hoja 1 de 3). Fuente: Autora



Ilustración 66. Instructivo de instalación (Hoja 2 de 3). Fuente: Autora



Ilustración 67. . Instructivo de instalación (Hoja 3 de 3). Fuente: Autora

5.10. Imagen del producto

3.8.1. Logotipo

El logotipo se compone de los dos elementos fundamentales que componen el dispositivo, el sol y las viviendas. Se realizó una composición radial de viviendas y como elemento central se colocó al sol, de manera que sus rayos ingresan por la parte superior a las viviendas.

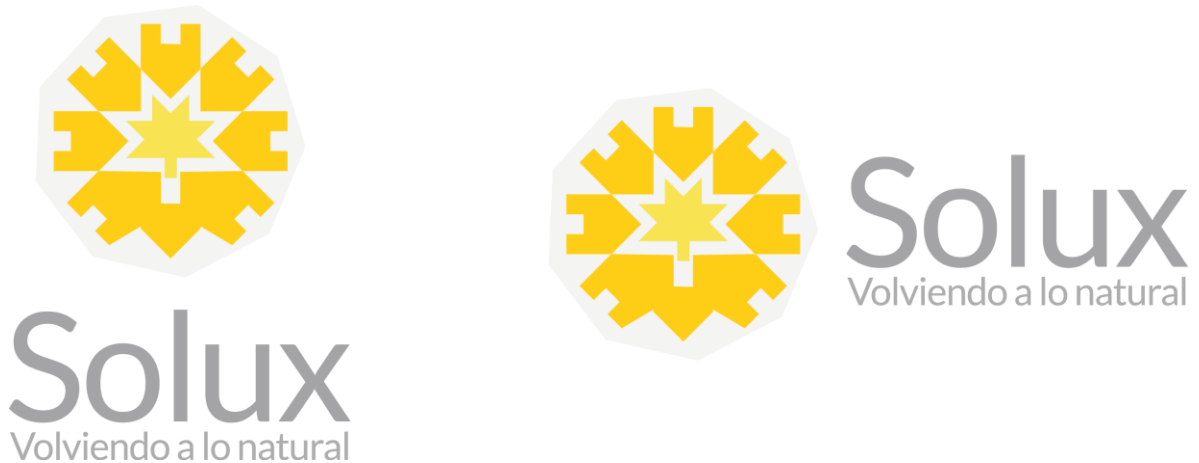


Ilustración 68. Logotipo y eslogan SOLUX. Fuente: Autora.

5.11. Construcción de un modelo funcional

Se fabricó un modelo funcional a escala 1:5, tanto del producto como de la vivienda tipo. Para esta actividad se contó con el apoyo de Tecnoparque-SENA, para el prototipado de las piezas de alta complejidad. El resto de los componentes fueron fabricados por fábricas privadas y por la autora. A continuación se presentan algunas imágenes del proceso.

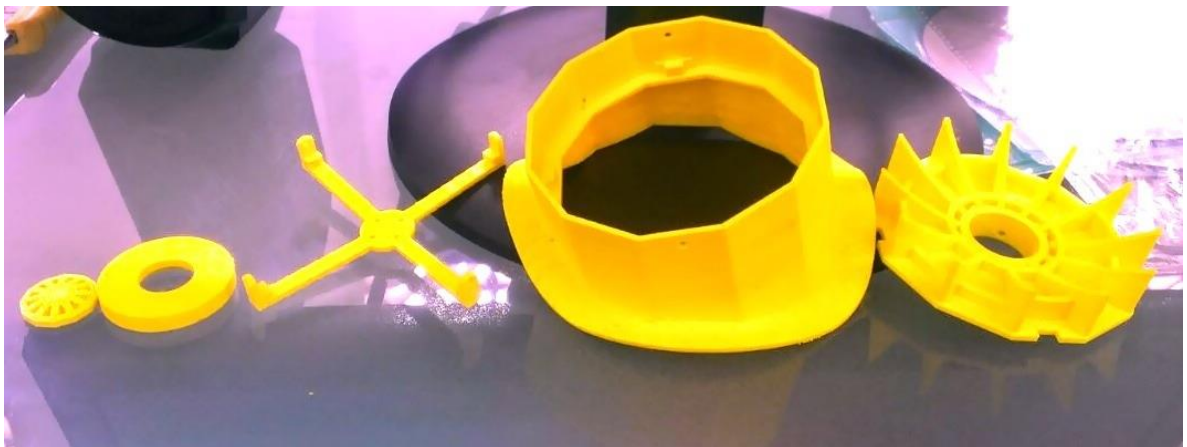


Ilustración 69. Piezas prototipadas con el apoyo de Tecnoparque-SENA. Fuente: Autora.

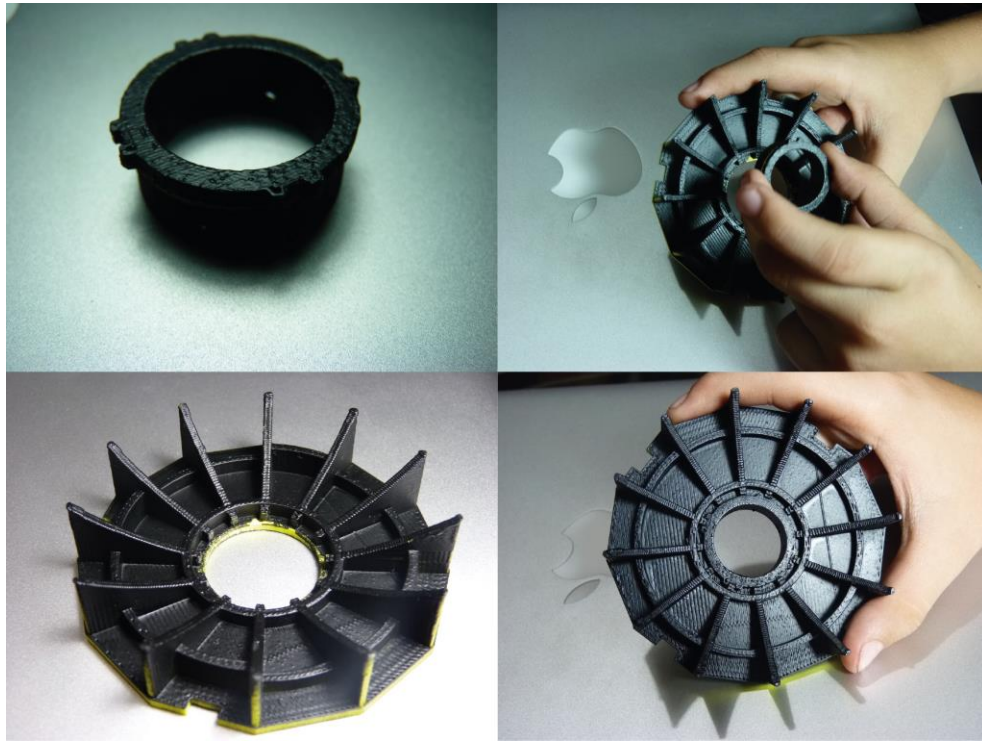


Ilustración 70. Ensamblaje de estructura reflector. Fuente: Autora.

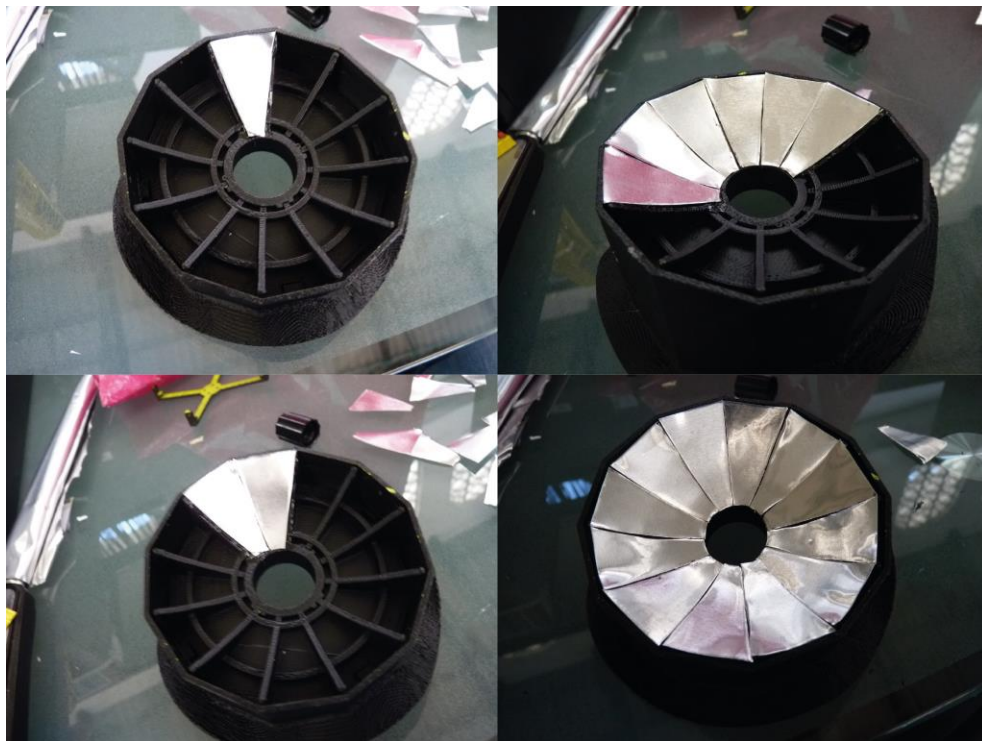


Ilustración 71. Instalación de superficie reflectante en reflector. Fuente: Autora.



Ilustración 72. Instalación de superficie reflectante en subreflector. Fuente: Autora.

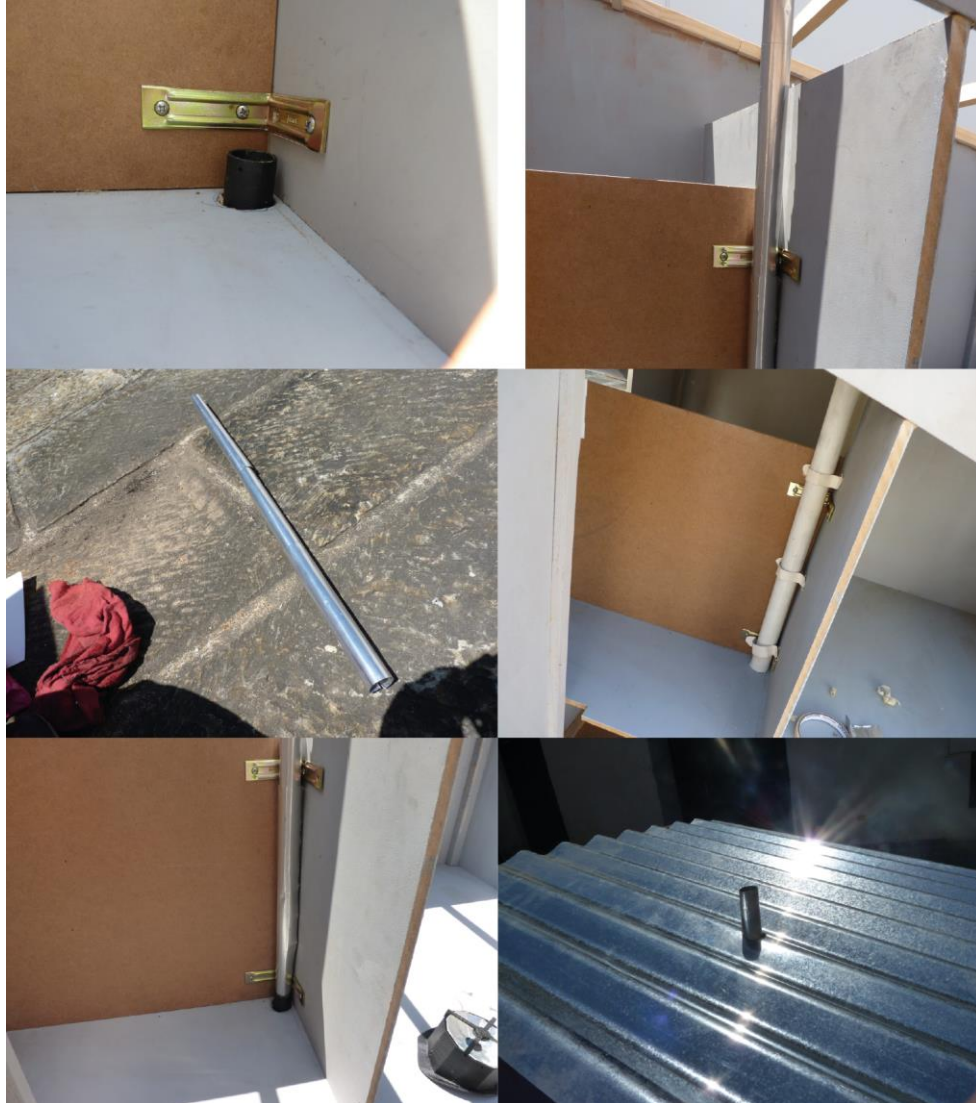


Ilustración 73. Ensamblaje e instalación del conductor. Fuente: Autora.



Ilustración 74. Ensamblaje e instalación del difusor. Fuente: Autora.

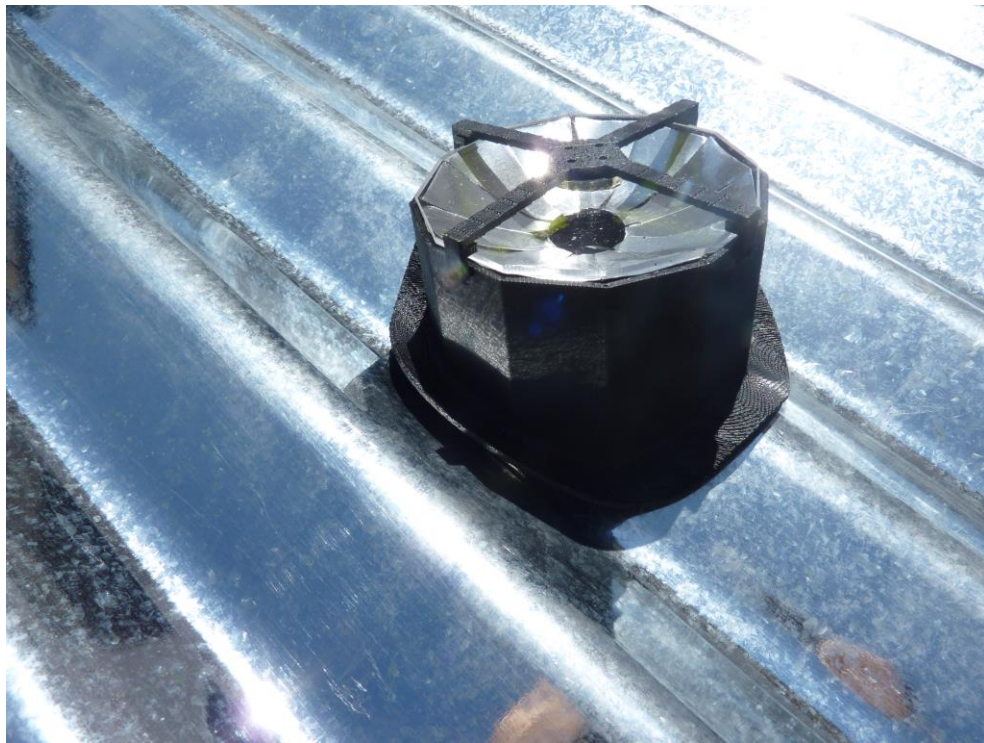


Ilustración 75. Recolector instalado en vivienda. Fuente: Autora.



Ilustración 76. Maqueta final escala 1:5. Fuente: Autora.

6. ETAPA 4: COMPROBACIONES

6.1. Validación

Objetivo: Calcular la eficiencia en la transmisión de la luz del dispositivo en tamaño real.

En busca de encontrar la herramienta más apropiada para la validación del diseño del producto, se retomó la bibliografía consultada durante la indagación. Allí se encontraron artículos donde se ponían a prueba los sistemas diseñados a través de la construcción de maquetas a diferentes escalas. En esta gama de posibilidades, se optó por seguir el procedimiento presentado en el artículo “Análisis experimental en un modelo a escala 1:2 de el doble tubo de luz, un dispositivo innovador para la transmisión de luz” (C. Baroncini, 2010).

En este artículo, se presenta el diseño de un dispositivo que además de transportar la luz a la primera planta de una vivienda, la lleva a la segunda planta, gracias a que cuenta con dos tuberías, uno interior en material reflectante y uno exterior en material difusor. Posteriormente se construye un modelo a escala 1:2, donde se miden las iluminancias al interior de una habitación, al igual que al exterior de la habitación, con el fin establecer la LTE³, eficiencia de transmisión de luz del dispositivo.

Para la validación de los resultados de la prueba, se acudió también al Reglamento Técnico de Iluminación Y Alumbrado Público (RETILAP). En este documento se establecen los valores recomendados para la iluminación residencial.

6.1.1. Procedimiento

Se llevó a cabo la construcción de un modelo a escala 1:1 de la totalidad del sistema. Una vez construido el modelo, se procedió a realizar la instalación de la prueba, la cual se llevaría a cabo en uno de los patios del Centro Cultural del Oriente.

- **Recolector:** se construyó tanto el reflector como el subreflector con una estructura en cartón paja, la cual fue cortada a láser para garantizar la precisión de su geometría.

³ LTE, “Light transmission efficiency”, es la medida de la cantidad de luz que viaja a lo largo del conducto. (Solatube International, Inc., 2013)

- **Conductor:** tal como el diseño del producto, es un cilindro vacío de 10cm de diámetro, tiene una longitud total de 3m, y para efectos del modelo, se unieron 5 cilindros cada uno de 60cm. Estos cilindros se unieron entre sí utilizando cinta adhesiva transparente fijada en las paredes exteriores.
- **Difusor:** se utilizó un disco de acrílico cristal de 3mm de espesor, dicho disco encaja perfectamente en la parte inferior del conductor.
- **Habitación:** El difusor se introdujo 10 cm dentro de la caja de cartón. En la cara inferior de la caja se dibujó una retícula de 15,4x9,4 cm, y en cada centro se perforó un círculo de 2,2 cm de diámetro, dentro del cual encaja el sensor del luxómetro.



Ilustración 77. Modelo a escala 1:1. Fuente: Autora

Para poder acceder a las perforaciones realizadas en el fondo de la caja, con ayuda de una escalera, se colocó la totalidad del sistema sobre dos sillas, con el fin de conseguir el espacio necesario para que una persona pudiera realizar las mediciones correspondientes a la iluminancia interna.

Se realizaron mediciones los días 10 y 15 de octubre de 2014, a tres horas diferentes (10 am, 12m y 2pm), tanto de la iluminancia interior en cada uno de los 9 puntos, como en el exterior. Todos estos datos fueron registrados en una tabla para su posterior interpretación.

1	4	7
2	5	8
3	6	9

Ilustración 78. Distribución de los orificios en la cara inferior de la caja. Fuente: Autora.

6.1.2. Herramientas

Luxómetro. Cámara fotográfica. Tablas para registro de datos. Lapicero

6.1.3. Materiales

Modelo a escala 1:1. Caja de cartón de 61,5x75x37,5 cm. Sillas rimax de 44 cm de alto. Escalera. Cinta Adhesiva.

6.1.4. Variables

Estado del tiempo: Teniendo en cuenta que las condiciones climáticas afectan la manera en que transmite la luz, se consultó el pronóstico del clima en el IDEAM. (Ver anexo H)

Iluminancia: Es el valor con el cual se validará la efectividad del sistema

Coefficiente de luz diurna (CLD): Expresa la relación, en porcentaje, entre la iluminancia promedio interior (E_{int}) producida por la luz natural a la altura del plano de trabajo y la iluminancia en el exterior (E_{ext}) determinada en el mismo instante en un cielo uniformemente nublado y sin obstrucciones, ver figura 79 para la definición y anexo H para los valores mínimos establecidos para las edificaciones.

El coeficiente de luz diurna (CLD) cuantifica los efectos del exterior y del interior en la iluminancia de un espacio interior considerado en una edificación. (República de Colombia. Ministerio de Minas y Energía., 2010)

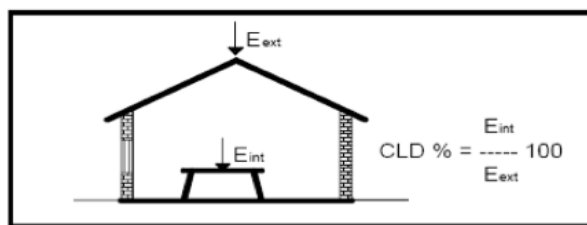


Ilustración 79. Coeficiente de luz diurna CLD. Fuente: RETILAP.

6.1.5. Resultados

Tal como se mencionó en el procedimiento, las mediciones se ejecutaron dos días, en los cuales las condiciones ambientales fueron diferentes. El primer escenario fue el de un cielo cubierto, correspondiendo a las condiciones menos favorables. El segundo escenario fue un cielo parcialmente cubierto, lo que representa unas condiciones medianamente favorables para el dispositivo.

La condición climática del cielo cubierto conllevó a que se obtuvieran valores de iluminancia entre los 8000 y 18000 lux aproximadamente. A su vez, las iluminancias interiores guardaron correspondencia a dichos valores, y por efecto de la difusión de la luz en las nubes, la diferencia entre las iluminancias registradas en los distintos puntos de la caja, fue reducida. A las 10 am la diferencia entre la máxima y la mínima fue de tan solo 46 lux, a las 12m fue de 15 lux, y a las 2pm fue de 81 lux. El promedio de iluminancias estuvo entre 113 y 128 lux, y el CLD, entre 0,7 y 1,3%.

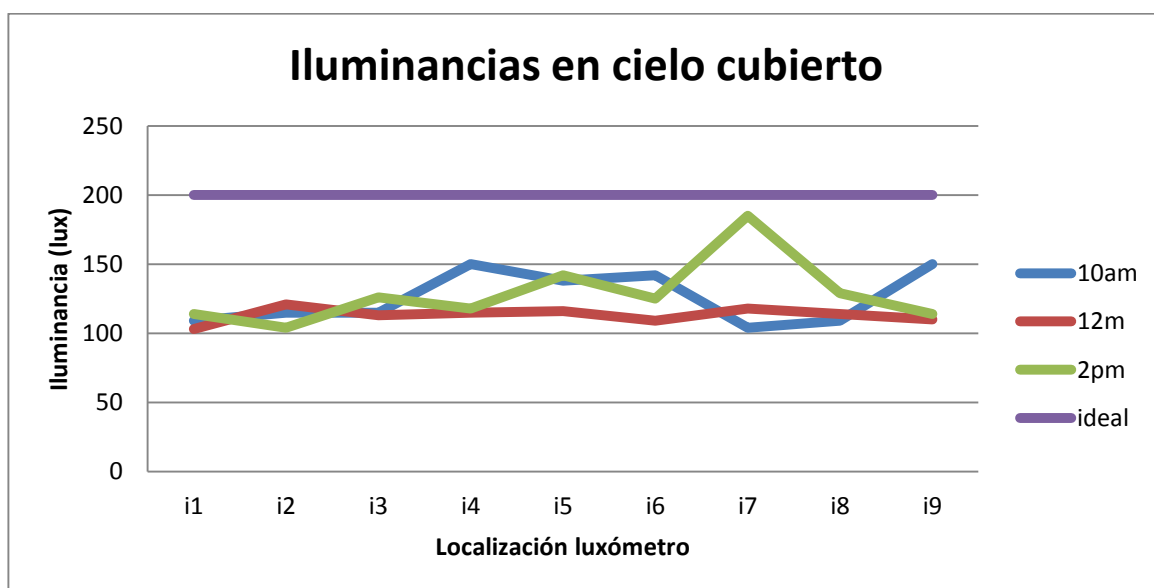


Ilustración 80. Iluminancias registradas en cielo cubierto. Fuente: Autora.

La reducida diferencia entre las iluminancias máximas y mínimas se debe, según la bibliografía consultada, a que la ausencia de una fuente de luz directa, elimina los llamados “haces de luz” que en los estudios de luz ocasionan que se registren puntos deslumbrados, frente a otros oscuros (David Jenkins T. M., 2005).

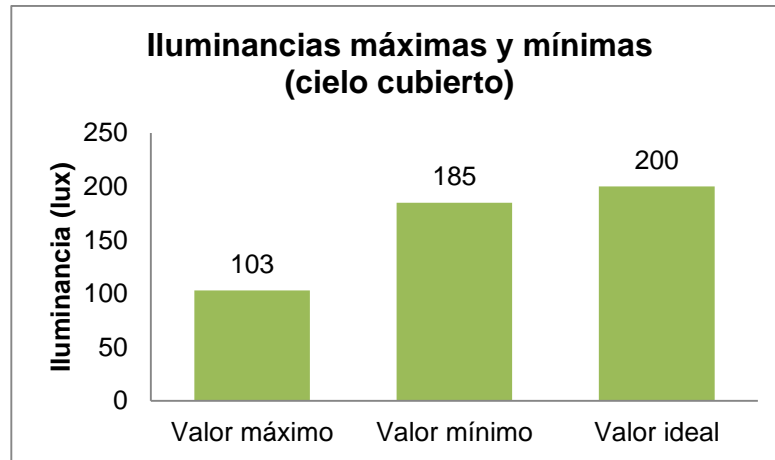


Ilustración 81. Iluminancias máximas y mínimas para cielo cubierto. Fuente: Autora.

Para la condición climática de cielo parcialmente cubierto, se tuvieron iluminancias exteriores de entre 36000 y 27000 lux aproximadamente. En este escenario se tuvieron mayores diferencias entre las iluminancias máximas y mínimas. A las 12m, la iluminancia máxima fue de 463 lux, mientras que la mínima fue de 155 lux. Esto se debe, como ya se dijo, a los “haces de luz” generados por el reflejo de los rayos del sol sobre el plano horizontal. El promedio de iluminancia para el escenario medianamente favorable, fue de 218 lux y el CLD fue de 0,7%. Se tuvieron valores de hasta 1,7% de CLD.

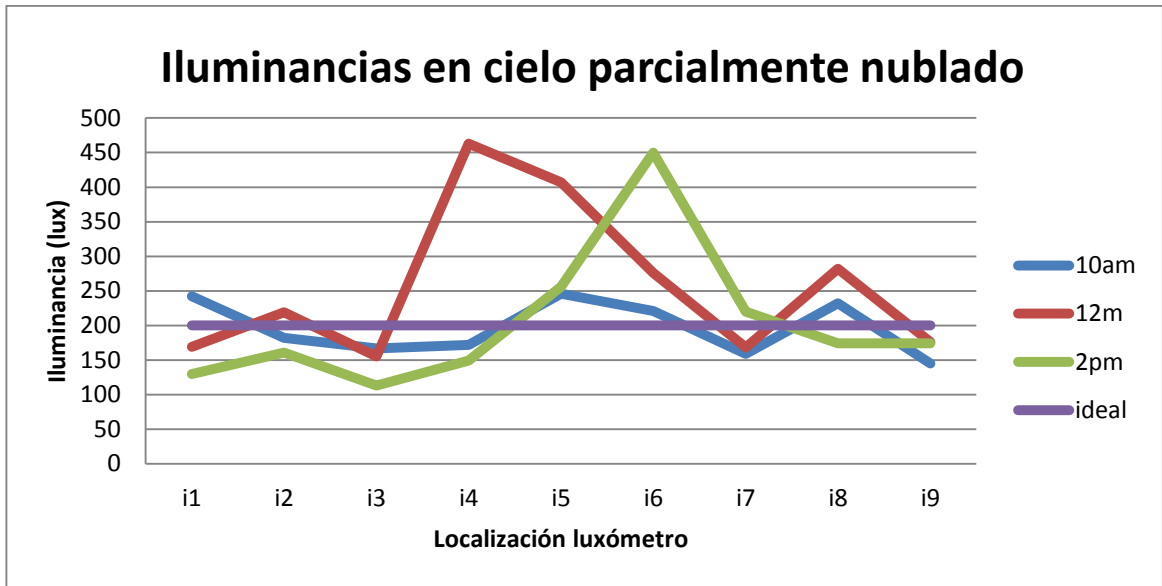


Ilustración 82. Iluminancias registradas en cielo parcialmente nublado. Fuente: Autora.

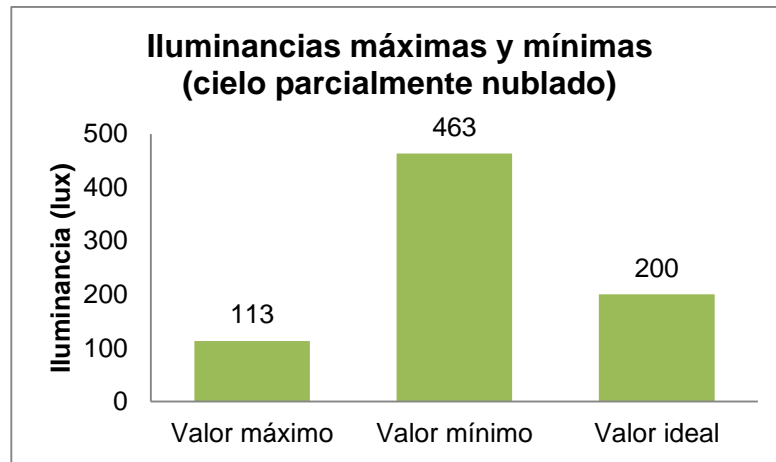


Ilustración 83. Iluminancias máximas y mínimas para cielo parcialmente nublado. Fuente: Autora.

6.1.6. Conclusiones

- Durante la fase de indagación, se establecieron los parámetros mínimos para el funcionamiento del sistema, de manera que se garantizara una iluminación adecuada a las VIS. Se estableció que el dispositivo debía ser capaz de generar una iluminancia de 200 lux. Por medio de esta prueba se pudo establecer que el dispositivo cumple con el requerimiento en un 109% para el escenario medianamente favorable. Para el caso del escenario menos favorable, el dispositivo cumple con un 61% del requerimiento.

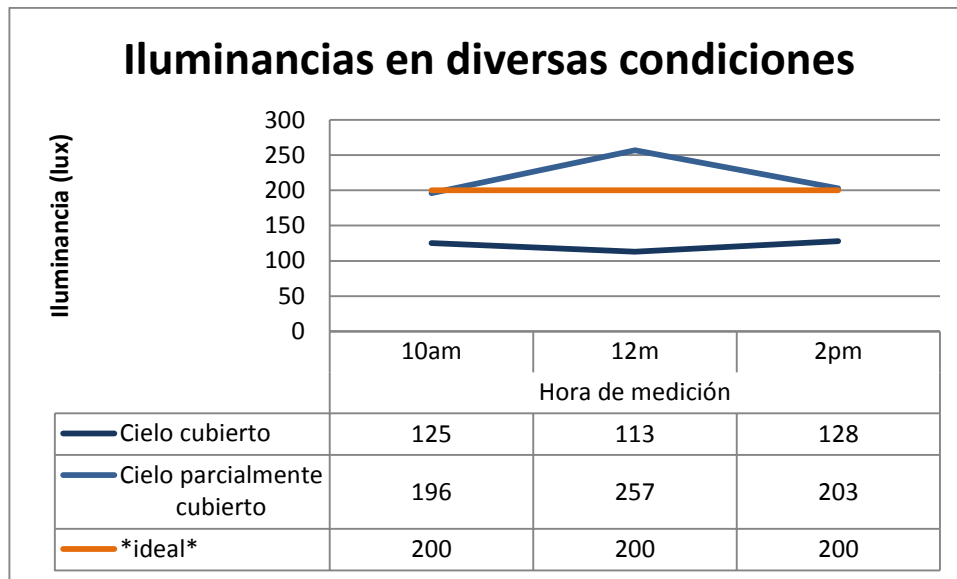


Ilustración 84. Iluminancias en diversas condiciones. Fuente: Autora.

- Teniendo en cuenta los coeficientes de luz diurna obtenidos, se consiguieron valores cercanos al 1%, lo que según lo establecido en la norma RETILAP, es lo recomendado para los salones comunes residenciales.

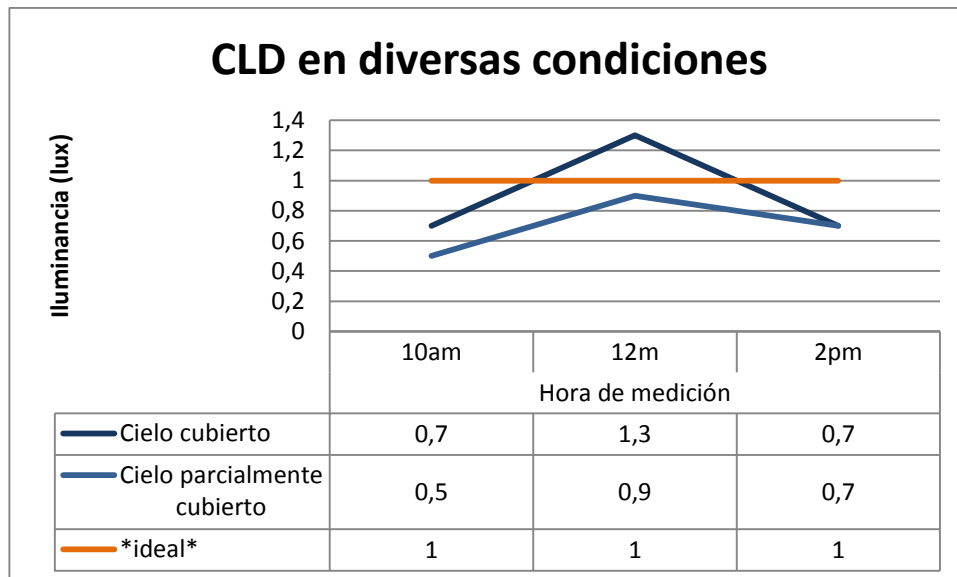


Ilustración 85. CLD en diversas condiciones. Fuente: Autora.

6.2. Estimaciones

Se realizó un cálculo aproximado del potencial de reducción de consumo energético alcanzado por el dispositivo. Para ello se tuvo en cuenta el

consumo en dos escenarios, para cada uno de ellos se realizó el cálculo de acuerdo a la potencia y tiempo de uso de las luminarias instaladas.

6.2.1. Variables

Potencia instalada: Es la medida en vatios (W), de las luminarias instaladas en determinado espacio.

Número de luminarias: Cantidad de bombillos instalados para la iluminación de determinado espacio.

Tiempo de consumo: Cantidad de horas que la luminaria debe encenderse de acuerdo con los hábitos de consumo.

Consumo: Vatios por hora (Wh) o kilovatios por hora (kWh), es el producto de la potencia por el tiempo de consumo. Es la medida utilizada para la facturación del consumo eléctrico domiciliario.

Tarifa: Valor en pesos que cada familia debe pagar por el servicio de energía eléctrica. Para conocer el costo de la energía eléctrica, se acudió a las tarifas de la Electrificadora de Santander, empresa encargada de proveer el servicio a la ciudad de Bucaramanga.

Escenarios:

- Escenario 1: Con Solux. El dispositivo se instala en el salón múltiple de las VIS, por lo que reemplaza la bombilla que usualmente se enciende durante las horas del día, retrasando el tiempo en que se debe encender la iluminación artificial.
- Escenario 2: Sin Solux. Es el diseño actual de las viviendas, las habitaciones se iluminan a través de bombillas y ventanas.

6.2.2. Procedimiento

Para calcular el potencial de ahorro que alcanza la propuesta, fue necesario plantear dos escenarios, y recolectar los datos correspondientes a las variables para cada uno de ellos. Los cálculos que se realizaran, representan el consumo y ahorro de sólo una de las habitaciones de la VIS.

Para conocer la potencia instalada se acudió a las encuestas, donde a través una pregunta de selección múltiple se cuestionaba a los habitantes sobre el tipo de bombillo que utilizan para iluminar sus viviendas. Los datos sobre consumo se obtuvieron del análisis de tareas realizado en la fase de indagación, y de una Guía Didáctica para el Buen Uso de la Energía, del Ministerio de Minas y Energía (Universidad Nacional de Colombia, 2007).

El consumo energético será calculado a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo} = (\text{potencia} * \#\text{luminarias})(\text{horas de uso})$$

6.2.3. Escenario 1: Con Solux

- **Luminarias utilizadas:** bombillo ahorrador, potencia=26w
- **Cantidad de luminarias:** 1
- **Horas de uso:** 3 horas.
- **Tarifa:** 172.5488 \$/kWh

$$\text{Consumo Escenario 1 (al día)} = (26w * 1)(3 \text{ horas}) = 78 \text{ wh}$$

6.2.4. Escenario 2: Sin Solux

- **Luminarias utilizadas:** 1 bombillo ahorrador, potencia=26w
- **Cantidad de luminarias:** 1
- **Horas de uso:** 7 horas.
- **Tarifa:** 172.5488 \$/kWh

$$\text{Consumo Escenario 2 (al día)} = (26w * 1)(7 \text{ horas}) = 182 \text{ wh}$$

6.2.5. Resultados

El potencial de ahorro energético alcanzado por la propuesta es de 104 Wh diarios, 3,12 kWh al mes, es decir más de 37kWh al año. En términos de emisión de gases, Solux está evitando la emisión de 5kg de CO₂ al año⁴. En cuanto a costos, para los habitantes de las VIS, al mes se ahorrarían \$400 por consumo, y al año tendrían una reducción de cerca de \$5000 en su factura de servicio eléctrico. En general, con Solux, se consigue un ahorro del 43% en el consumo energético, y de un 57% en el pago de servicio de electricidad.

Tabla 11. Resumen potencial de ahorro Solux. Fuente: Autora.

	Escenario 1	Escenario 2
Potencia Instalada (W)	26	26
Tiempo de uso (horas al día)	3	7
Tarifa kWh	173	173
Consumo (wh pal día)	78	182
Consumo (kWh al mes)	2,34	5,46

⁴ Se obtuvo este dato gracias a un sitio web que permite calcular la emisión de gases teniendo en cuenta la fuente de energía utilizada para suplir el consumo requerido.

http://www.sunearthtools.com/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_3

Consumo (kWh anual)	28,47	66,43
Coste inicial (COP)	167184	7000
Coste explotación mensual (COP)	403,764192	11462,41678
Coste explotación anual (COP)	4912,464336	11462,41678
Reducción tarifa mensual (COP)	404	0
Reducción tarifa anual (COP)	4912	0
Reducción consumo energético (%)	42,85714286	0
Reducción tarifa (%)	57,14285714	0

6.2.6. Proyección a 10 años

Con el objetivo de calcular el tiempo de amortización de la inversión inicial se realizó una proyección a largo plazo. Los fabricantes de dispositivos similares a Solux, ofrecen actualmente una garantía de vida útil de 10 años. Sobre esta base, se realizó un planteamiento del funcionamiento de los dos escenarios por este tiempo. Se tuvieron en cuenta los costos iniciales, los de explotación y la vida útil de los sistemas.

Si bien en 10 años no se consigue aún amortizar el costo inicial de Solux, esto se puede obviar, ya que en las condiciones ideales, el costo inicial correspondiente a la adquisición e instalación de Solux, no sería asumido por los ocupantes de las VIS, sino por sus fabricantes.

Tabla 12. Resumen de la proyección a 10 años. Fuente: Autora.

	Escenario 1	Escenario 2
Consumo (kWh)	284,7	664,3
Coste de explotación (COP)	49124,64336	114624,1678
Valor inicial (COP)	167184	7000
Vida útil (horas)	87600	6000
Cantidad de reposiciones	0	4
Reposición (COP)	0	28000
TOTAL (COP)	216308,6434	149624,1678

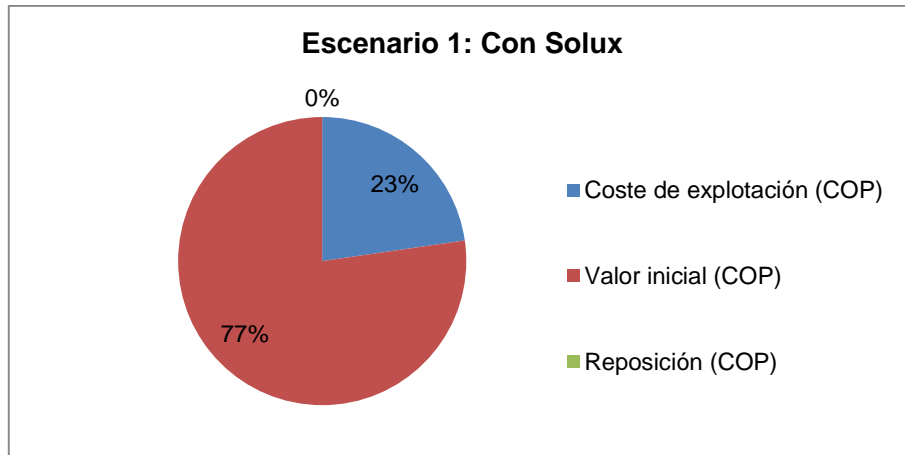


Ilustración 86. Torta de costos de explotación, valor inicial y reposición (Escenario 1) Fuente: Autora.

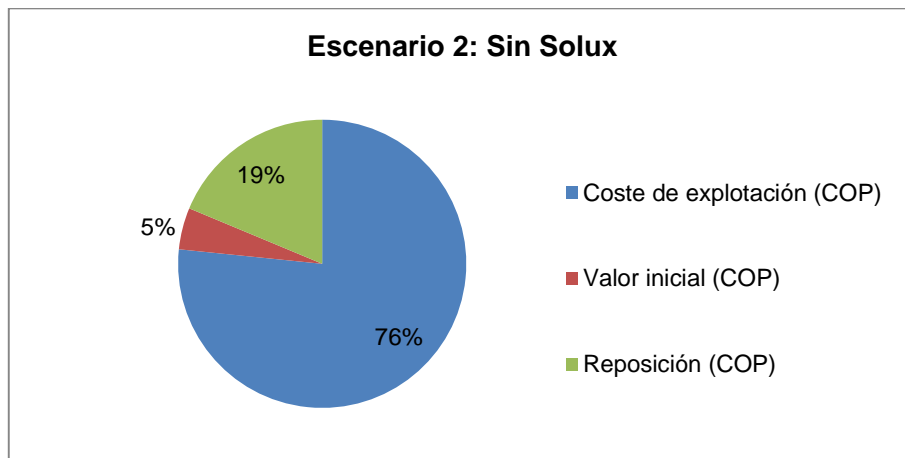


Ilustración 87. Torta de costos de explotación, valor inicial y reposición (Escenario 2). Fuente: Autora.

6.3. Ventajas de la implementación de Solux

Como producto de la indagación, comprobaciones y estimaciones, se pudieron establecer las posibles ventajas de la implementación de la propuesta de diseño, este resumen se puede apreciar en la siguiente ilustración.

Ventajas de la implementación de Solux en las VIS



Amigable con el medio ambiente

Solux permite reducir un 43% del consumo energético por cuenta de iluminación.

Evita la emisión de alrededor de 5 Kg de CO2 al año.



Aprovechamiento de la luz natural

La luz natural es la mejor fuente de iluminación en cuanto a reproducción de colores

Impide la aparición de problemas de salud relacionados con la depresión, como desordenes alimenticios, de sueño y aislamiento social



Tiempo de vida

Solux puede ofrecer una vida útil de aproximadamente 10 años, en los cuales el único mantenimiento necesario sería la limpieza del recolector y del difusor, lo cual no representa ningún costo adicional.



Economía

Con Solux, los ocupantes de las VIS, verán un ahorro en su factura de servicio eléctrico de hasta un 57%



Post-consumo

Solux se fabrica con materiales que en su mayoría son reciclables, y los que no los son pueden disponerse fácilmente, contrario a las lámparas tradicionales, que al cumplir su vida útil se convierten en desechos peligrosos para los seres humanos.



Solux
Volviendo a lo natural

Ilustración 88. Ventajas de la implementación de Solux. Fuente: Autora.

7. CONCLUSIONES

El análisis de los sistemas ópticos de iluminación natural se realizó de dos formas. En un primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica en diversas bases de datos, de donde se establecieron conceptos básicos necesarios para comprender el funcionamiento de los sistemas de iluminación natural. Se encontró que todos los dispositivos de transmisión de luz se dividían en 3 partes: recolector, conductor y difusor, y esta observación fue la que dio pie a la conceptualización del producto.

Del análisis del mercado se encontró que los dispositivos de iluminación eran inapropiados para las VIS colombianas. Los diámetros de los conductos utilizados para transportar la luz presentan unas dimensiones que al instalarse en las viviendas reduciría considerablemente el espacio que sus habitantes aprovechable dentro de las casas. Por otra parte, los componentes de los dispositivos existentes están diseñadas para instalarse en medio de cielos rasos y paredes en drywall, materiales de construcción que no se utilizan en las VIS.

Al comenzar la etapa de creación surgieron diversas geometrías y medios de refracción, provenientes de varias fuentes de inspiración, por lo cual se ejecutaron pruebas experimentales con el fin de tener bases claras para la toma de decisiones de diseño. Se diseñaron experimentos con base a la bibliografía consultada, donde se midió la iluminancia dentro de un contenedor al cual se le instalaron los diferentes modelos con el fin de medir el desempeño de cada uno.

Se concluyó que los recolectores vacíos eran más efectivos que los que contenían líquidos. Esta afirmación surge al observar el ranking del desempeño de los modelos, donde aquellos conformados por cúpulas hemisféricas y orgánicas estuvieron por encima de las alternativas con líquidos.

De la experimentación con el conductor, se determinó que se aplicarían los cilindros vacíos y los conos truncados a la generación de alternativas, ya que eran los que lograban llevar más luz al interior de la caja. Por otra parte se encontró que la inclusión de aristas en la geometría de este componente, no disminuye su desempeño.

Como respuesta a las observaciones de la fase de indagación y experimentación, se planteó como objetivo la reducción del diámetro del conducto de luz. Para ello se acudió a un experto en óptica, con quien se

consultaron posibles soluciones como los lentes de aumento, la fibra óptica y los sistemas ópticos presentes en los telescopios. Teniendo en cuenta las características particulares del proyecto, se descartaron los lentes y la fibra óptica, por su disponibilidad, costos y tiempo de vida.

Los productos existentes en el mercado requieren de tubos de 25 cm de diámetro para iluminar áreas similares a las del salón común de las VIS. Con la implementación del sistema óptico Cassegrain, se logró una reducción de un 30% en el diámetro del tubo. Este porcentaje incluso podría aumentar si se mejora la precisión del sistema.

Para validar la efectividad del diseño propuesto, nuevamente se acudió a la bibliografía consultada para hallar la metodología apropiada para este objetivo. Se construyó un modelo a escala 1:1 de los componentes funcionales para la reflexión y transporte de la luz. Posteriormente se midió la luz al interior de un contenedor vacío y la luz en el exterior en ese mismo instante, con estos datos se halló el coeficiente de luz diurna (CLD). El CLD es una medida que cuantifica el efecto de la iluminancia exterior al interior de las edificaciones.

Los datos registrados en la validación se compararon con los establecidos en los requisitos. En primer lugar se encontró que se superó el valor de iluminancia establecido en los requerimientos. En segundo lugar, luego de calcular el CLD en varias condiciones ambientales, favorables y desfavorables, se comparó con las tablas establecidas en la normativa RETILAP, y se halló que el dispositivo cumplía con la norma.

De las estimaciones de la reducción de consumo energético en las VIS, se determinó que con la propuesta de diseño se consigue un 43% de reducción en el consumo eléctrico, lo que se traduce en un 57% de ahorro en la factura de este servicio. También se realizó una proyección a 10 años, donde se encontró que este tiempo no es suficiente para amortizar el costo inicial del dispositivo. Basado en esta proyección, se propone trabajar a futuro en la mejora de la geometría del sistema óptico y en la implementación de un sistema que suministre la iluminación durante la noche, y con esto se podría amortizar el costo en un tiempo inferior al proyectado.

Otra ventaja de Solux (propuesta final de diseño) frente a los sistemas de iluminación natural, se halla en relación a su ciclo de vida. Los bombillos, ya sean ahorradores, incandescentes o LED, al finalizar su tiempo de vida útil se convierten en residuos peligrosos, que deben separarse de los desechos comunes generados en la vivienda, y se debe evitar la inhalación de sus

escombros (Universidad Nacional de Colombia, 2007). Su disposición se hace en lugares especiales ya que contienen elementos químicos que suponen riesgos tanto para el medio ambiente como para los seres humanos. En contraste Solux, se fabrica con aluminio, vidrio, caucho y ABS. Estos materiales, en su mayoría son reciclados con métodos muy sencillos, y aquellos que no se pueden reciclar, no se convierten en residuos peligrosos.

Solux es parte de la dotación básica de las VIS, los costos de adquisición e instalación hacen parte del presupuesto que se asigna a la ejecución de estos proyectos. La implementación masiva de dispositivos para la reducción del consumo energético, da ejemplo del esfuerzo del Gobierno Nacional por el consumo racional de energía.

7.1. Hallazgos

Durante las diferentes pruebas de validación del dispositivo, se pudo observar que gracias a la geometría y el material, la superficie del dispositivo alcanzaba altas temperaturas. Este hallazgo se considera útil, ya que el calor generado en el recolector ser aprovechado. Por ejemplo para calentar agua.

7.2. Trabajo futuro

Los sistemas ópticos, sea cual sea su tipo, ofrecen infinitas posibilidades en su configuración. Por lo tanto, sería interesante plantear la exploración de diversos casos en busca de hallar uno que garantice un diámetro de tubo conductor menor con una ganancia en la transmisión de luz mayor a los propuestos para Solux.

En cuanto a la implementación de un sistema de suministro de iluminación nocturna, se podría contemplar la inclusión de una fotocelda en Solux. A partir de esto, se podría experimentar si gracias a la geometría del sistema óptico Cassegrain, se obtiene una ganancia en el almacenamiento de energía solar.

REFERENCIAS

Alcaldía de Piedecuesta. (2012). *Proyecto Pienta fue aprobado por el Ministerio de Vivienda*. Retrieved 2014 from Alcaldía Municipal de Piedecuesta:

http://www.alcaldiadepiedecuesta.gov.co/sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=975:proyecto-pienta-fue-aprobado-por-el-ministerio-de-vivienda&catid=43&Itemid=358

ARQHYS Arquitectura. (2014). *Envolvente del edificio*. From ARQHYS Arquitectura: <http://www.arqhys.com/construcciones/envolvente-edificio.html>

C. Baroncini, O. B. (2010). Experimental analysis on a 1:2 scale model of the double light pipe, an innovative technological device for daylight transmission. *Solar Energy* , 84, 296-307.

Castillo, T. (2014). *Curiosismo*. From La lámpara Moser, la bombilla de los pobres : <http://curiosismo.com/2013/10/23/la-lampara-moser-la-bombilla-de-los-pobres/>

Celestron, LLC. (2011). *Telescope, Telescope Accesories, Outdoor & Scientific Products by Celestron*. From Información Básica del Telescopio: http://www.celestron.com/c3/images/files/downloads/1297801757_telescopebasics.pdf

Colombia, P. (18 de Marzo de 2013). *Urna de cristal*. Retrieved 11 de Julia de 2014 from ¿Cuántas de las 100 mil viviendas gratis ya se están construyendo?: <http://www.urnadecristal.gov.co/gestion-gobierno/cu-ntas-de-100-mil-viviendas-gratis-ya-se-est-n-construyendo>

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Teritorial. (2011). *Calidad en la Vivienda de Interés Social*. Nuevas Ediciones S.A.

David Jenkins, T. M. (2003). Modelling light-pipe performances—a natural daylighting solution . *Building and Environment* (38), 965–972 .

David Jenkins, T. M. (2005). A design tool for predicting the performances of light pipes . *Energy and Buldings* (37), 485-492.

Dirección General e Industria, Energía y Minas. (2006). *Guía Técnica de Iluminación Eficiente*. Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A.

Dr Joyce yee, A. W. (2012). The use of design visualisation methods to support decision making. *International Design Conference*. Dubrovnik: Design 2012.

ECBCS . (2010). *Daylight in Buildings*. Hertford: AECOM Ltd.

Escudero, L. P. (2004). Stirling, Estudio teórico y de viabilidad de la radiación solar concentrada en un motor. *Universitat Politècnica de Catalunya*.

ESPACIO SOLAR S.L. (2011). *Espacio Solar. Tecnología Bioclimática*. Retrieved 2014 from Vivienda Ecológica - Eficiencia Energética - Lucernarios: <http://www.espaciosolar.com/vivienda-ecologica-eficiente-beneficios.htm>

George Koch Sons, LLC. (2014). *Aluminized Steel Type 1. Product Data Bulletin*. Evansville.

Guerton, J. B. (2013). *METRHISPANICO*. Retrieved 2014 from Vivienda Progresiva en Chile: <http://metrhispanico.com/2013/03/20/vivienda-2-vivienda-progresiva-en-chile/>

Hearst Newspaper. (n.d.). *Is there a difference between the terms cloudy and overcast?* From Houston Chronicle : <http://blog.chron.com/sciguy/2011/03/is-there-a-difference-between-the-terms-cloudy-and-overcast/>

HelioBus. (2014). *HelioBus Daylighting Systems*. From Inspiration: <http://www.heliobus.com/en/inspiration>

IDEO. (2008). *"HCD Human Centered Design Toolkit"*.

IESNA, Illumination Engineering Society of North America. (2000). *Lighting Handbook*. New York: Illumination Engineering Society of North America.

InfinityLimited. (2014). From Sunlight in a tube: <http://blog.infinitylimited.net/?p=64>

Lechuga, M. (2013). *GUÍA PARA IDENTIFICAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CULTURA DE UNA LOCALIDAD: ENFOCADA A DISEÑADORES INDUSTRIALES*. Ciudad Juarez: Universidad Autónoma de Ciudad Juarez.

Lightway s.r.o. (2014). *Lightway - Producer of Crystal Tubular Light Pipes* . From How to choose a light pipe: <http://www.lightway.cz/en/products/how-to-choose-a-light-pipe/>

Litro de luz Colombia. (2014). *Un litro de luz*. From <https://www.facebook.com/unlitrodeluzcol/photos/pb.203035576418494.-2207520000.1407041426./424741850914531/?type=3&theater>

M.S. Mayhoub, D. C. (2011). The costs and benefits of using daylight guidance to light office buildings. *Building and Environment* , 46, 698-710.

Maillet, R. (2011). *Liters of Light: Engineering a New Soda Bottle Solar Light*. Massachusetts Academy of Math and Science.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia. (2006). *Control Social a la Vivienda de Interés Social. Módulo 8*. Bogotá.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2012). *Sobre el Programa*. Retrieved 2014 from Ministerio de Vivienda: <http://www.100milviviendasgratis.gov.co/ministerio/index.php/sobre-el-proyecto/>

My Shelter Foundation. (2014). *Home*. Retrieved 2014 from A Liter of Light: <http://aliteroflight.org/>

MyShelter Foundation. (2014). *About us*. Retrieved Junio de 2014 from Liter of light: <http://aliteroflight.org/about-us/>

Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos. *El derecho a una vivienda adecuada. Folleto informativo No. 21*. Onu Habitat.

Parsons School of Design. (1999). *New School of Social Reserch in New York analyzing 60 studies and articles on the topic of daylighting and productivity*. New York.

R. Echazú, C. C. (2000). ESTUDIO DE MATERIALES REFLECTIVOS PARA CONCENTRADORES SOLARES . *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)* .

República de Colombia. Ministerio de Minas y Energía. (Marzo de 2010). REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO. RETILAP . Bogotá D.C.

Romero, A. F. (2013). Hábitos de consumo de las familias en Bucaramanga en diferentes estratos.

Siim and Co., S.L. (2012). *Propiedades Físicas y Mecánicas de Materiales*.

Solatube International, Inc. (2013). *Does your TDD have the right amount of bounce?* Retrieved 2014 from The Solatube Blog: <http://www.solatube.com/residential/blog/does-your-tdd-have-right-amount-bounce>

Solatube International, Inc. (2013). *Solatube*. From How does a TDD work? : <http://www.solatube.com/residential/blog/how-does-tdd-work>

Solatube International, Inc. (2013). *Solatube*. From <http://www.solatube.com>

The Home Depot. (2014). From 14 in. SUN TUNNEL Tubular Skylight with Flexible Tunnel and Pitched Flashing: <http://www.homedepot.com/p/VELUX-14-in-SUN-TUNNEL-Tubular-Skylight-with-Flexible-Tunnel-and-Pitched-Flashing-TMF-014-0000/202329733>

Total Wallpapers. (2014). *CLEAR-SKY-WALLPAPERS* . From Wallpaperdeal.com: <http://wallpaperdeal.com/clear-sky-wallpapers/>

Universidad Nacional de Colombia. (2007). *Alumbrado interior de edificaciones residenciales*. Unidad de Planeación Minero Energética . Bogotá: Impresión POLIGRAMA.

Weatherbug. (2014). *It felt like autumn in Albuquerque*. From WeatherBug: <http://backyard.weatherbug.com/profiles/blogs/it-felt-like-autumn-in-albuquerque-on-monday>

Zeballos, C. (2014). *Moleskine Arquitectónico*. From LE CORBUSIER: UNITÉ D'HABITATION DE BERLÍN: <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com/2010/04/le-corbusier-unite-dhabitation-de.html>

ANEXOS

Anexo A: Documentos suministrados por el INVISBU

El Instituto de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana del Municipio de Bucaramanga (INVISBU) suministró documentos a pedido de la autora. Entre ellos se destacan planos arquitectónicos, imágenes de ubicación, y otro tipo de datos acerca de las viviendas y proyectos vigentes. A continuación se presentan los relevantes para el desarrollo de este proyecto.



Ilustración 89. Localización de los proyectos actuales de VIS. Fuente: INVISBU.

PROYECTO 3. ETAPA 13 VILLAS

DESCRIPCION PROPUESTA



Ultima Etapa del Proyecto Villas de San Ignacio.

ÁREA DEL PREDIO: 6.742MT²

TOTAL DE SOLUCIONES: **101** Unidades de Vivienda.
Por Desarrollar: 101 VIVIENDA

TIPOLOGÍA: Vivienda Unifamiliar Progresiva

AREA LOTE : 38.70MT²

AREA CONSTRUIDA: 35.32MT² Progresiva

POBLACION OBJETIVO: Ola Invernal 2010

Fuentes de Financiación
TOTAL INVERSION: 4.167.765.000

VIVIENDAS EN SECTOR BAVARIA II PROYECTO VILLAS DE SAN IGNACIO SOBRE VIA AL CAFÉ , ZONA NORTE DE BUCARAMANGA

Ilustración 90. Información básica del proyecto Villas de San Ignacio. Fuente: INVISBU.

Anexo B: Formatos de Entrevistas con usuarios primarios

Primera Jornada:

Fecha:

Lugar y tipo de vivienda:

Nombre del usuario:

Entrevistadores:

Dirección y teléfono:

Somos estudiantes de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander, en este momento estamos trabajando en un proyecto para reducir el consumo eléctrico generado por la iluminación en las viviendas de interés social. Es por ello que nos dirigimos a usted para solicitar la colaboración con esta entrevista.

1. ¿Cuántas personas viven en su casa?
¿Qué edades tiene cada uno? ¿Cuál es su ocupación?

Integrante	Edad	Ocupación

2. ¿Hace cuánto viven en esta casa? _____ años _____ meses
¿En qué Barrio vivían antes?
3. ¿Además de las actividades principales, Qué otras actividades realizan dentro de la vivienda?
¿A qué hora del día?
¿En qué área o lugar de la casa?
¿Qué se tipo de iluminación se utiliza en esa zona
Bombillo incandescente_ Bombillo ahorrador_ Lámpara_ Luz natural (ventana) _ Claraboya _
4. ¿Qué tipo de mejoras le gustaría hacer en la vivienda?
Mejorar acabados_ Ampliaciones_ Cambio de pisos_ Pintura_ Cambiar el techo_
5. ¿Le gustaría tener un elemento que reduzca el consumo de electricidad? Si_ No_
¿Por qué?

Segunda y tercera Jornada

Fecha:

Lugar y tipo de vivienda:

Nombre del usuario:

Entrevistadores:

Dirección y teléfono:

Somos estudiantes de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander, en este momento estamos trabajando en un proyecto para reducir el consumo eléctrico generado por la iluminación en las viviendas de interés social. Es por ello que nos dirigimos a usted para solicitar la colaboración con esta entrevista.

1. De las siguientes opciones de iluminación, ¿cuáles utiliza en su hogar?

Bombillo incandescente_ Bombillo ahorrador_ Lámpara_ Luz natural (ventana) _
Claraboya _

- ¿Cuál disfruta más? ¿Por qué?
2. ¿Está a gusto con la forma en que ilumina su vivienda?
Si_ No_ ¿Por qué? Economía_ Estética_ Confort_
 3. ¿Qué le gustaría mejorar a la forma en que ilumina su vivienda?
Si_ No_ ¿Por qué? ¿Cómo?
Iluminación natural_ Variedad_ Intensidad_
 4. ¿Además de las actividades principales, Qué otras actividades realizan dentro de la vivienda?
¿A qué hora del día?
¿En qué área o lugar de la casa?
¿Qué se tipo de iluminación se utiliza en esa zona
Bombillo incandescente_ Bombillo ahorrador_ Lámpara_ Luz natural (ventana) _ Claraboya _
 5. ¿Actualmente existe algún área de su vivienda a la cual no llegue la luz solar durante el día?
No_ Si_ ¿Cuál?
 6. ¿Qué actividades realiza en dicha zona? ¿A qué horas del día?
 7. ¿De qué manera la iluminan esta zona?
Bombillo incandescente_ Bombillo ahorrador_ Lámpara_
 8. ¿Le gustaría tener un elemento que reduzca el consumo de electricidad?
Si_ No_ ¿Por qué?

Anexo C: Datos de análisis de tareas

Tabla 13. Datos recopilados para el análisis de tareas. Fuente: Autora.

	Salón Múltiple				Alcoba		
	Trabajos precisos (peluquería, modistería, maquila, bordados, maquila)	Lectura y escritura	Cocinar	Ocio (ver tv, escuchar música)	Ocio (ver tv, escuchar música)	Lectura y escritura	
Más de 8 horas	6	0	0	2	0	0	
4 - 8 horas	12	9	4	12	4	0	
2- 4 horas	5	16	9	16	12	9	
Menos de 2 horas	0	0	17	0	0	0	
Moda	4 - 8 horas	2 - 4 horas	menos de 2 horas	2 - 4 horas	2 - 4 horas	2 - 4 horas	Total
	12	16	17	16	12	9	82
%	14,634146 34	19,512195 12	20,731707 32	19,512195 12	14,634146 34	10,975609 76	
	15	19	21	19	15	11	100

Anexo D: Sugerencias para la iluminación de los espacios residenciales

Iluminar una vivienda va más allá de la instalación de bombillas para cuando falte la luz natural. Una correcta iluminación brinda una sensación de confort y estética al aspecto global de la casa. Para iluminar de manera adecuada cada espacio de la casa se deben tener en cuenta las tareas que allí se realizan y la el nivel de iluminación requerido para su ejecución. A continuación se presentan los niveles sugeridos para cada espacio de la vivienda, según las actividades que se desarrollan en cada uno. (Universidad Nacional de Colombia, 2007)

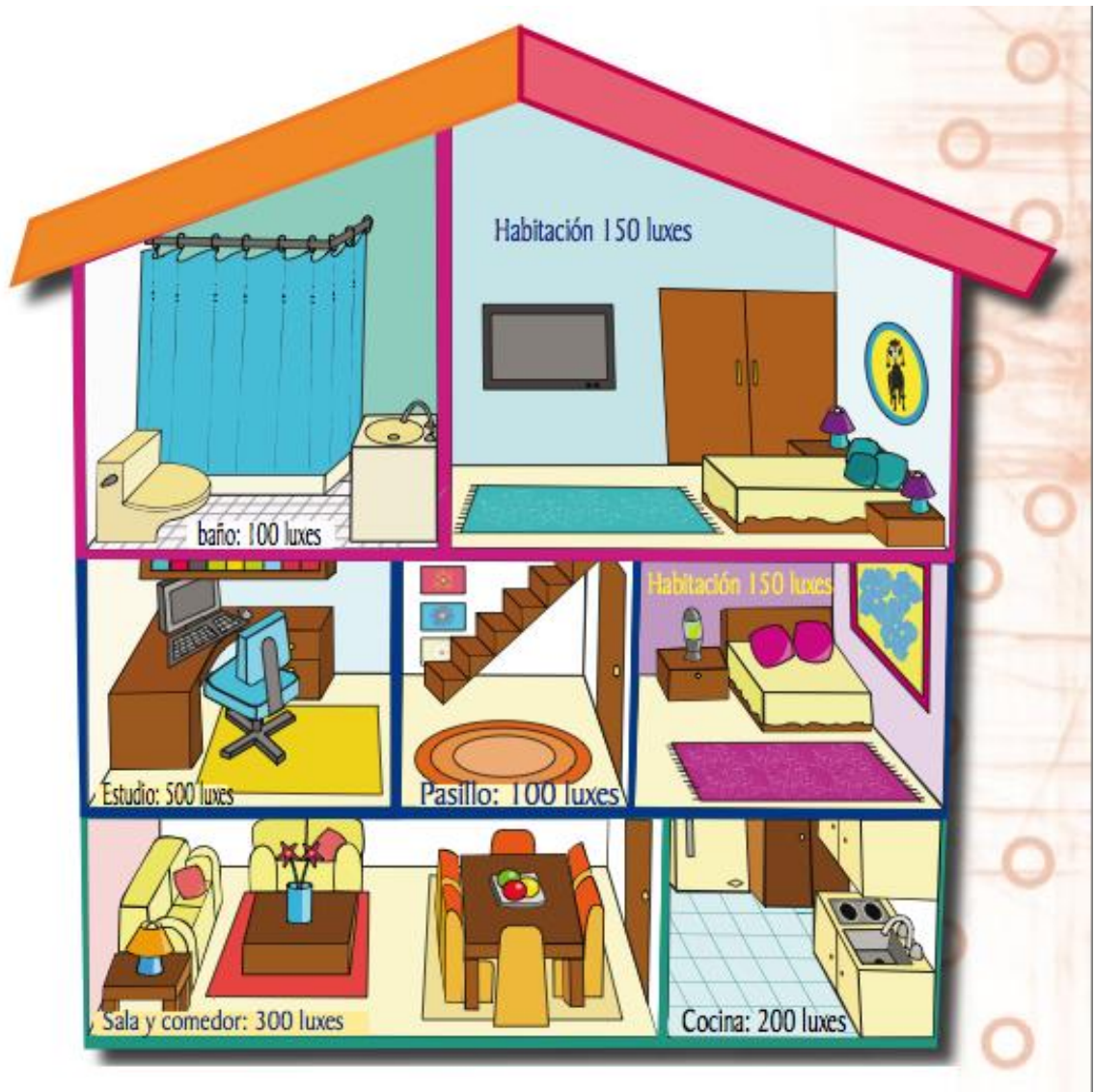


Ilustración 92. Niveles de iluminación sugeridos para los espacios residenciales. Fuente: (Universidad Nacional de Colombia, 2007)

Anexo E: Tablas de registro de datos - Pruebas experimentales

Tabla 14. Tablas para el registro de resultados de las pruebas experimentales. Fuente: Autora.

Iluminancia (lx)			Día 1	Día 2	Día 3	
Agua/soluciones	A1	9				
		12				
		15				
	A2	9				
		12				
		15				
	A3	9				
		12				
		15				
	A4	9				
		12				
		15				
	A5	9				
		12				
		15				
	A6	9				
		12				
		15				
	Superficies	S1	9			
			12			
			15			
		S2	9			
			12			
			15			
S3		9				
		12				
		15				
S4		9				
		12				
		15				
S5		9				
		12				
		15				
S6		9				
		12				
		15				

Anexo F: Resultados simulación en V-Ray para selección de alternativas

V-Ray, a través de su herramienta "V-Ray LightMeter", emite un gráfico donde es posible observar la distribución a lo largo de una superficie. A continuación se presenta el resultado correspondiente a cada alternativa.

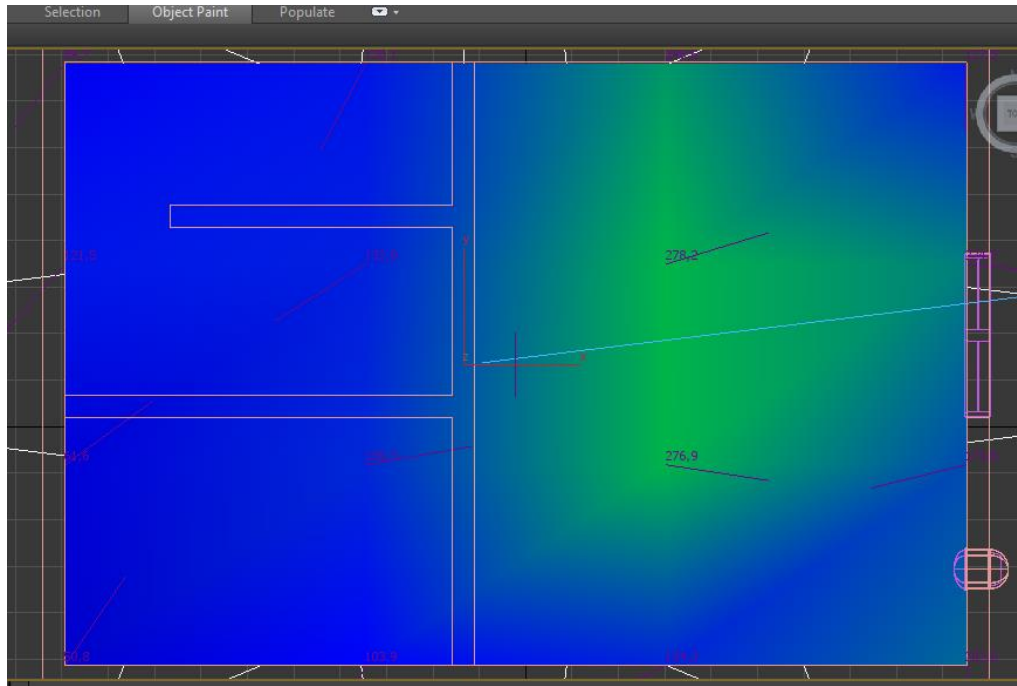


Ilustración 93. Resultados simulación en V-Ray alternativa 1. Fuente: Autora.

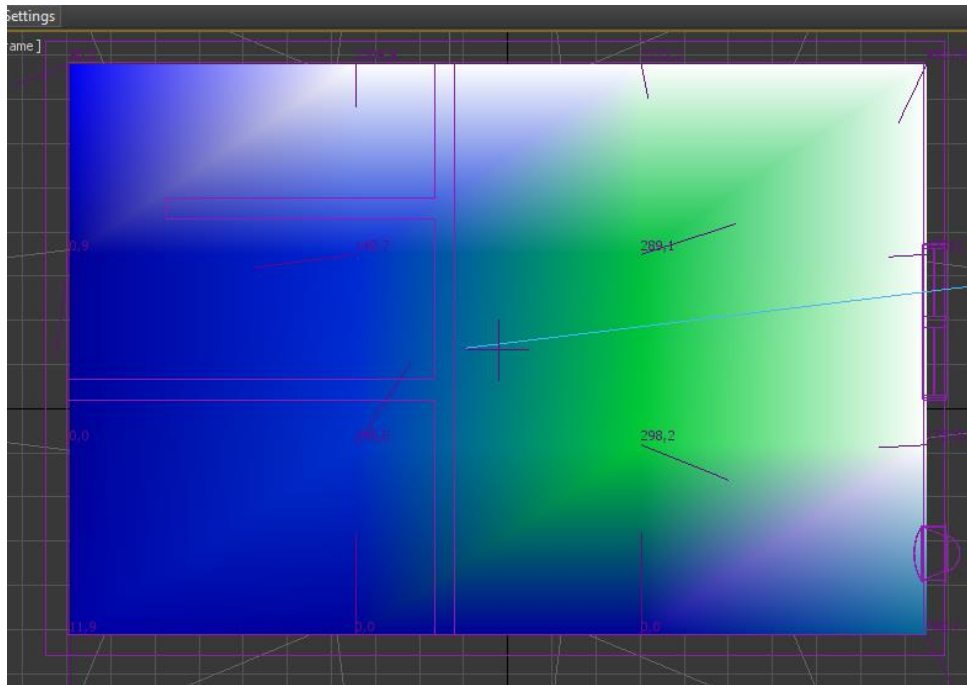


Ilustración 94. Resultados simulación en V-Ray alternativa 2. Fuente: Autora

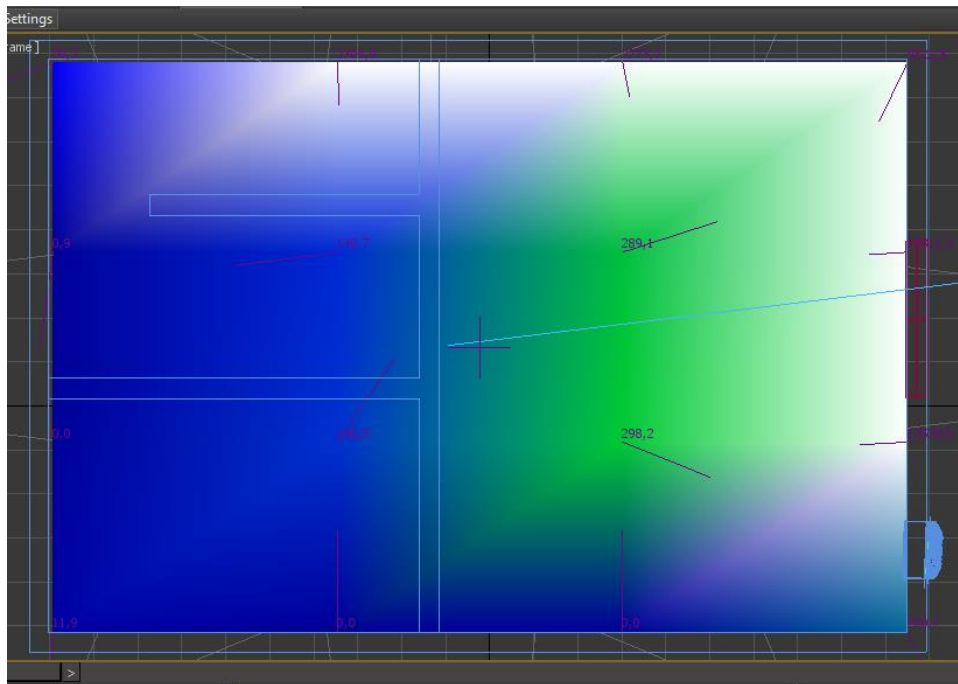


Ilustración 95. Resultados simulación en V-Ray alternativa 3. Fuente: Autora.

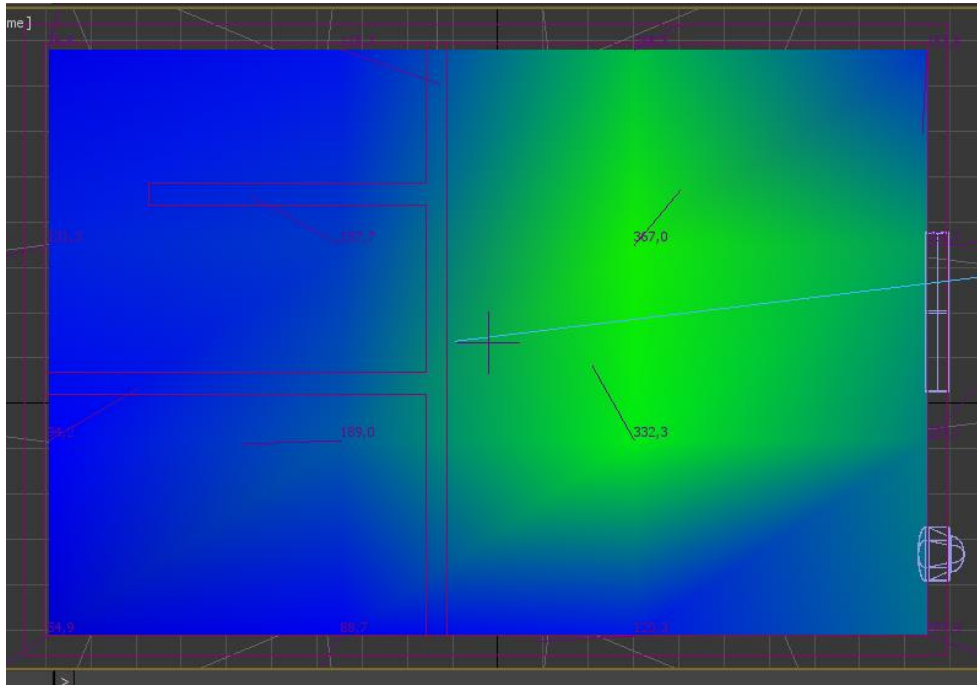


Ilustración 96. Resultados simulación en V-Ray alternativa 4. Fuente: Autora.

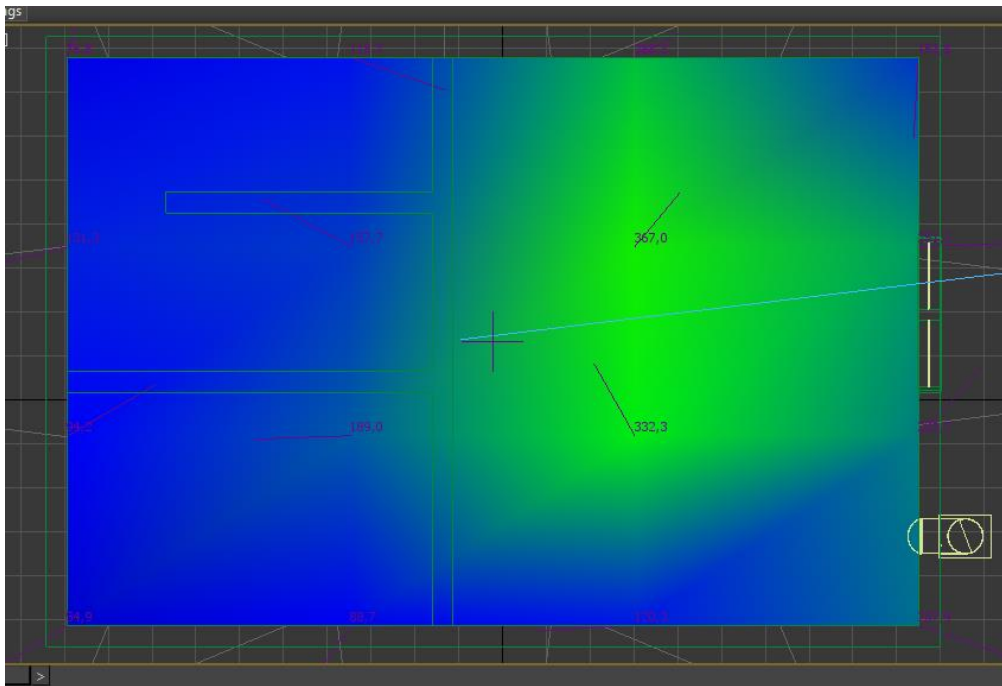


Ilustración 97. Resultados simulación en V-Ray alternativa 5. Fuente: Autora.

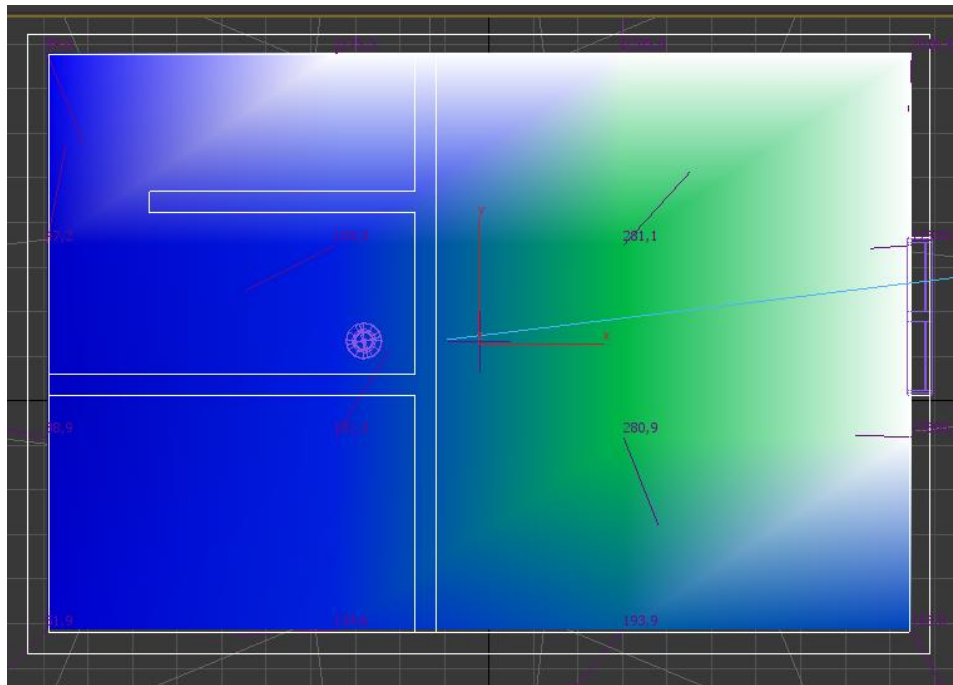


Ilustración 98. Resultados simulación en V-Ray alternativa 6. Fuente: Autora

Anexo G: Diseño de detalle Sistema Óptico Cassegrain.

Para el diseño del reflector se utilizó el software Antenna Calculator, donde se introdujo el diámetro y profundidad deseadas, para a partir de estos datos obtener la ecuación de la parábola que daría forma a la superficie reflectante.

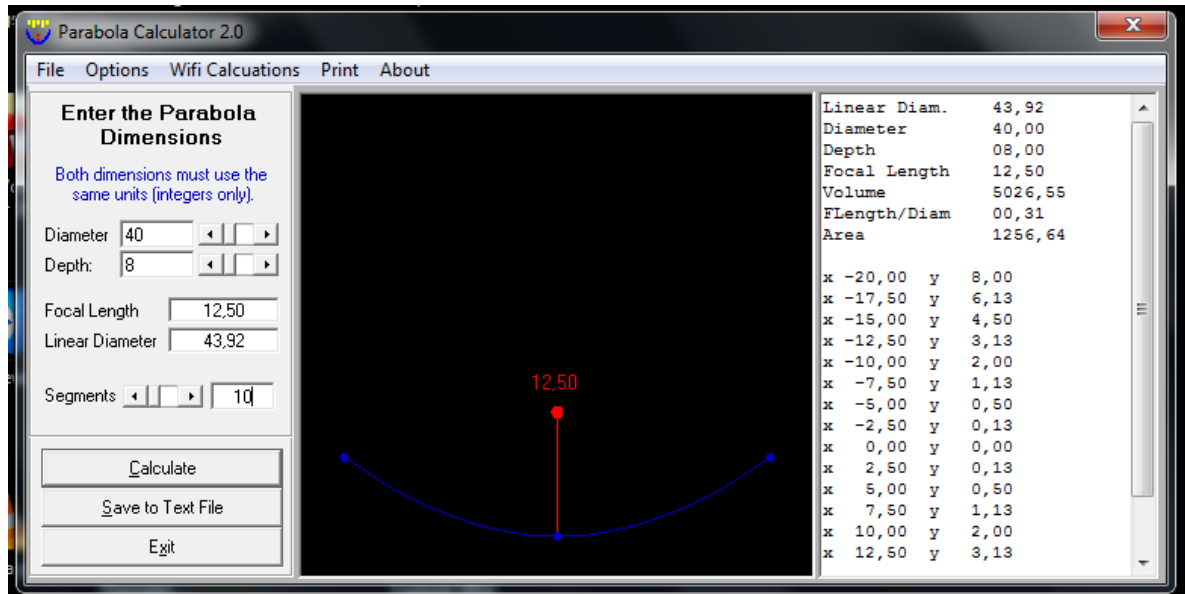


Ilustración 99. Diseño de la parábola en Antena Calculator. Fuente: Autora

Seguido a esto se utilizó el software SolidWorks para construir la geometría del sistema óptico tomando como base los apuntes de la consulta con el profesor Arturo Plata. La geometría final del sistema se presenta en la siguiente ilustración.

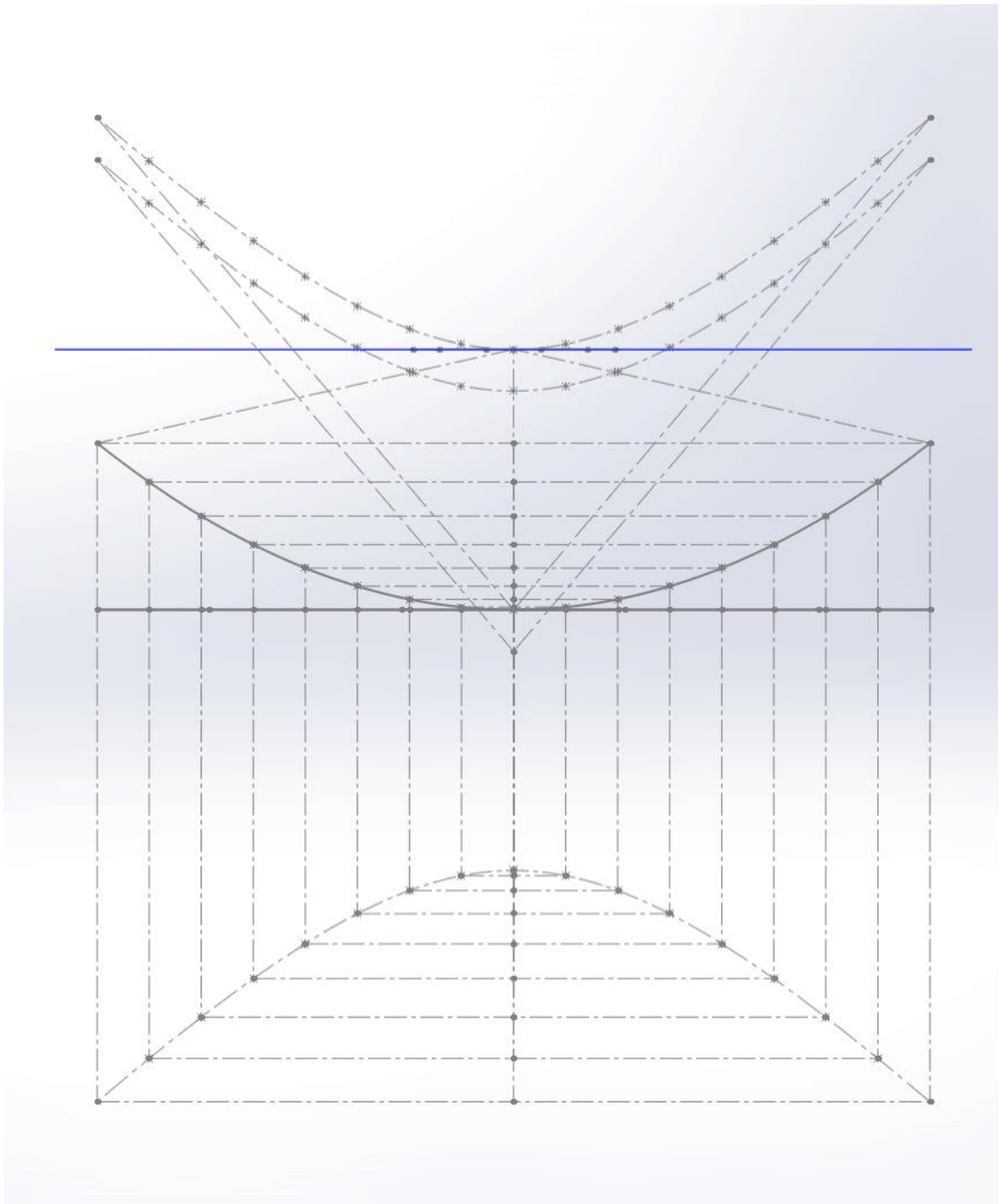


Ilustración 100. Geometría del sistema óptico Cassegrain diseñado. Fuente: Autora.

Finalmente se halló la geometría correspondiente a las superficies reflectantes con ayuda del software Pepakura Designer, donde fue necesario introducir la escala y precisión que se deseaba para los modelos.

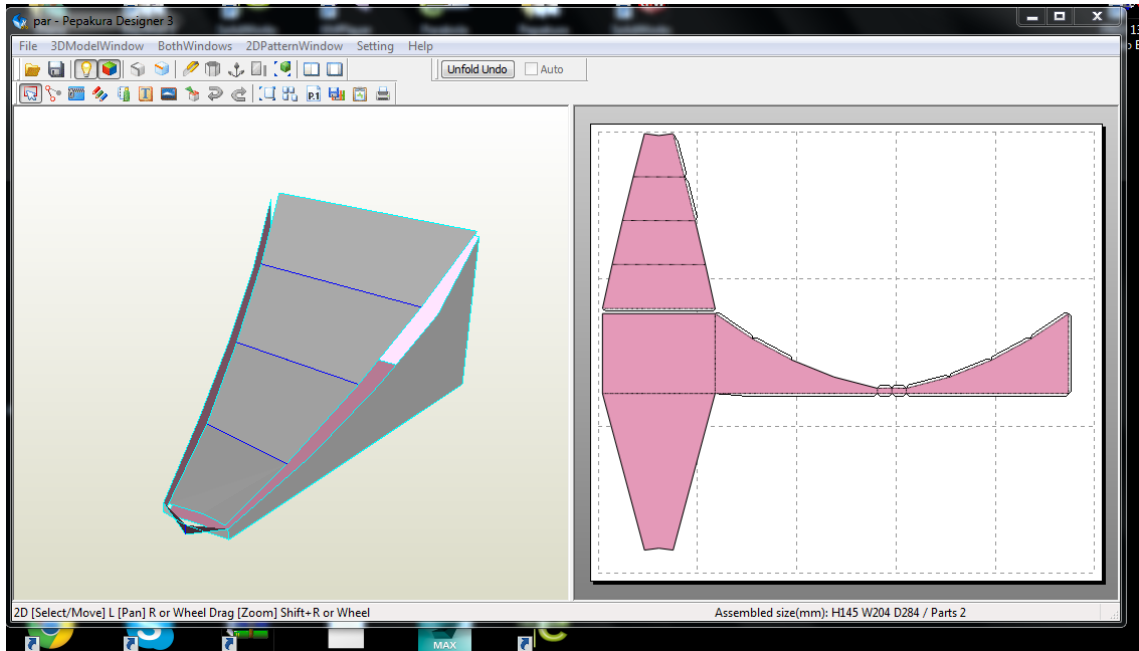


Ilustración 101. Cálculo de la superficie del reflector. Fuente: Autora.

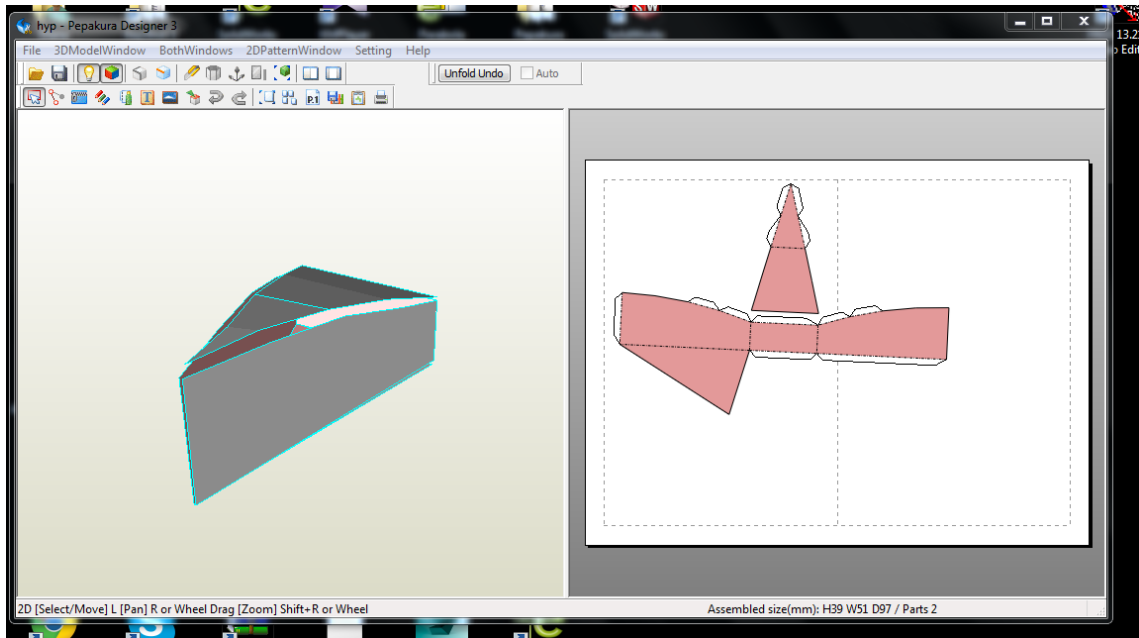


Ilustración 102. Cálculo de la superficie del subreflector. Fuente: Autora.

Anexo H: Valores mínimos de CLD que se deben cumplir en las edificaciones.

Dentro del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, RETILAP, se establecen los valores que deben ser tenidos en cuenta en las edificaciones residenciales y no residenciales en términos de iluminación natural.

Tabla 15. Valores mínimos de CLD que se deben cumplir en las edificaciones. Fuente: RETILAP.

CLD en edificaciones no residenciales		CLD en edificaciones residenciales	
Fábricas	5	Alcobas a $\frac{3}{4}$ del ancho del recinto	0,5
Oficinas	2	Cocina en la mitad del ancho del recinto	2
Salones de Clase	2	Sala en la mitad del ancho del recinto	1
Hospitales	1		

Anexo I: Pronósticos climáticos - Validación

Los siguientes son los pronósticos del IDEAM para los días 10 y 15 de octubre, fechas en las cuales se realizaron las pruebas de validación

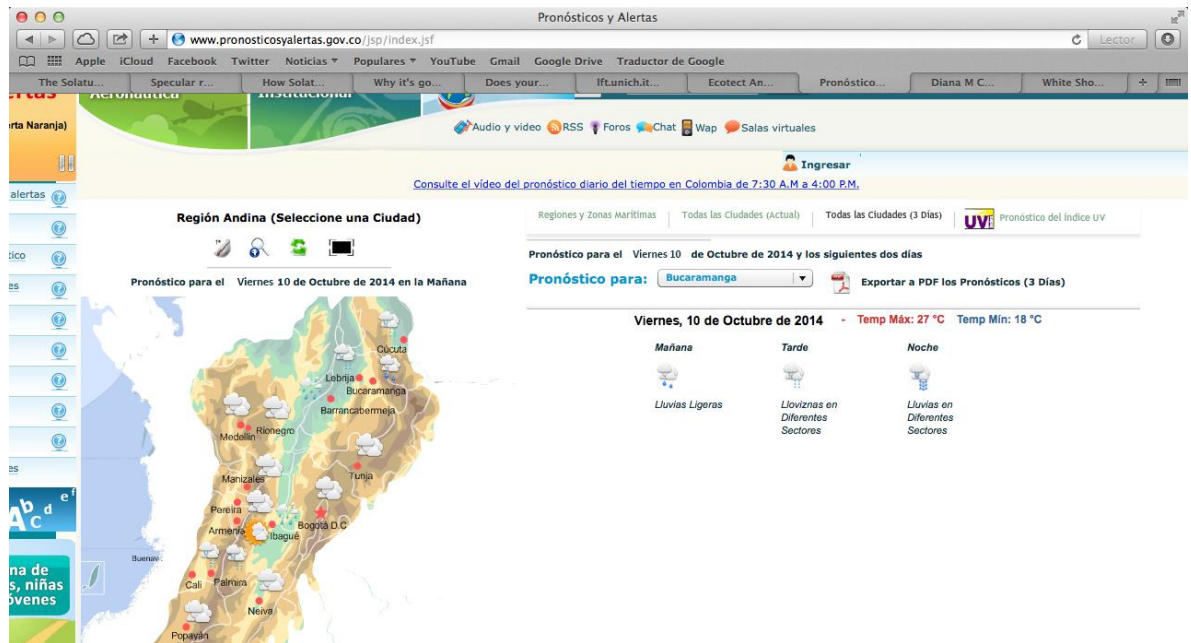


Ilustración 103. Pronóstico meteorológico para el viernes 10 de octubre de 2014. Fuente: IDEAM.

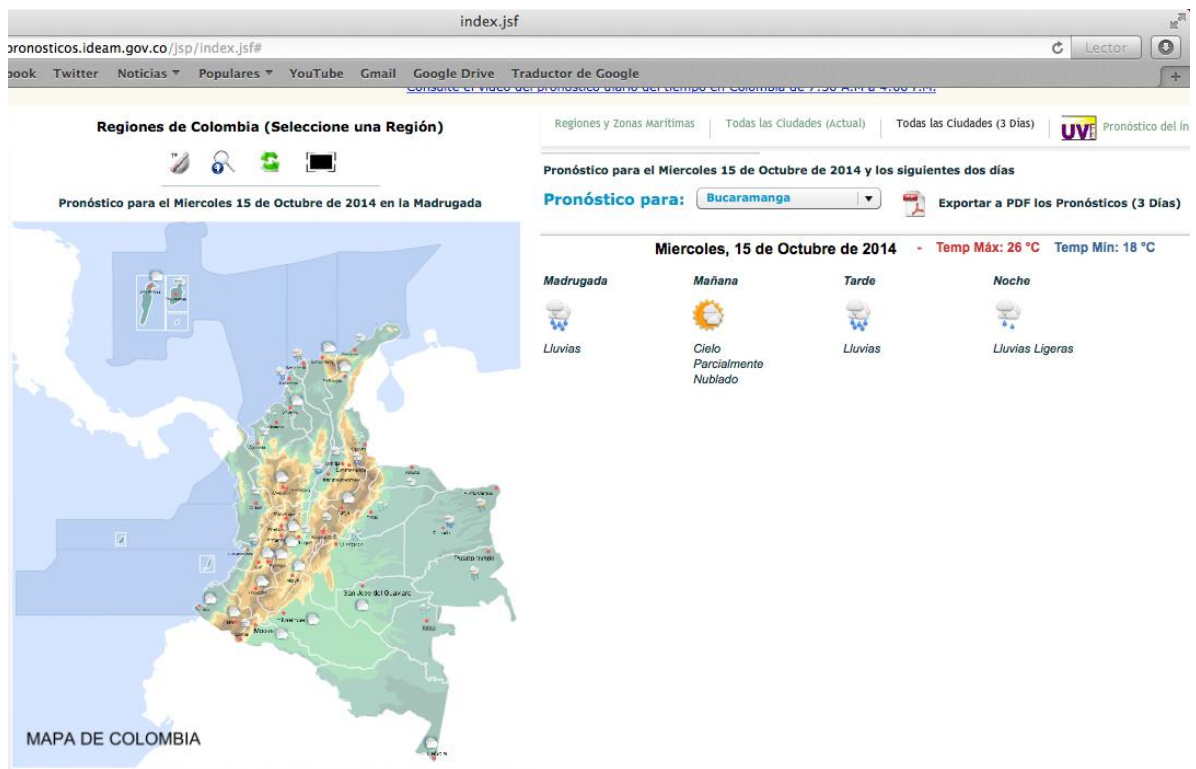


Ilustración 104. Pronóstico meteorológico para el miércoles 15 de octubre de 2014. Fuente: IDEAM.

Anexo J: Datos Validación

Viernes 10 de octubre

Tabla 16. Datos recopilados en la validación (día 1). Fuente: Autora.

	10am		12m		2pm		prom	
	Iluminancia	Coefficiente de luz diurna	Iluminancia	Coefficiente de luz diurna	Iluminancia	Coefficiente de luz diurna	Iluminancia	Coefficiente de luz diurna
Exterior	18800		8400		16000		14400	
i1	109	0,579787234	103	1,226190476	114	0,579787234	108,6666667	0,75462963
i2	115	0,611702128	121	1,44047619	104	0,611702128	113,3333333	0,787037037
i3	115	0,611702128	113	1,345238095	126	0,611702128	118	0,819444444
i4	150	0,79787234	115	1,369047619	118	0,79787234	127,6666666	0,886574074
i5	138	0,734042553	116	1,380952381	142	0,734042553	132	0,916666666
i6	142	0,755319149	109	1,297619048	125	0,755319149	125,3333333	0,87037037
i7	104	0,553191489	118	1,404761905	185	0,553191489	135,6666666	0,94212963
i8	109	0,579787234	114	1,357142857	129	0,579787234	117,3333333	0,814814815
i9	150	0,79787234	110	1,30952381	114	0,79787234	124,6666666	0,865740741
iprom	125,7777778	0,669030733	113,2222222	1,347883598	128,5555555	0,669030733	122,5185185	0,850823045

Miércoles 15 de octubre

Tabla 17. Datos recopilados en la validación (día 2). Fuente: Autora.

	10am		12m		2pm		prom	
	Iluminancia	Coefficiente de luz diurna	Iluminancia	Coefficiente de luz diurna	Iluminancia	Coefficiente de luz diurna	Iluminancia	Coefficiente de luz diurna
Exterior	36500		30200		27700		31466,66667	
i1	242	0,663013699	169	0,559602649	130	0,469314079	180,3333333	0,57309322
i2	182	0,498630137	219	0,725165563	161	0,581227437	187,3333333	0,595338983
i3	167	0,457534247	155	0,513245033	113	0,407942238	145	0,460805085
i4	172	0,471232877	463	1,533112583	149	0,537906137	261,3333333	0,830508475
i5	246	0,673972603	407	1,347682119	256	0,924187726	303	0,962923729
i6	221	0,605479452	276	0,913907285	450	1,624548736	315,6666666	1,003177966
i7	159	0,435616438	168	0,556291391	220	0,794223827	182,3333333	0,579449153
i8	232	0,635616438	282	0,933774834	174	0,628158845	229,3333333	0,728813559
i9	145	0,397260274	176	0,582781457	174	0,628158845	165	0,524364407
iprom	196,2222222	0,537595129	257,2222222	0,851729213	203	0,732851986	218,8148148	0,695386064

