

Dispositivo plegable de captación y regulación del nivel de iluminación natural en edificaciones

Jairo Alberto Agudelo Gómez, Marly Dayarine Vargas Muñoz

Trabajo de Grado para Optar al Título de Diseñadores Industriales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico Mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Bucaramanga

2022

Dispositivo plegable de captación y regulación del nivel de iluminación natural en edificaciones

Jairo Alberto Agudelo Gómez

Marly Dayarine Vargas Muñoz

Director

Diego Fernando Becerra

Magister en tecnologías aplicadas para la educación

Codirector

Clara Isabel López Gualdrón

Doctorado en Ingeniería Área Gestión Tecnológica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Físico Mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Bucaramanga

2022

### **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo a Dios, quien estuvo presente en el trascurso de nuestra vida, dándonos fortaleza, sabiduría y apoyo siempre que lo necesitábamos. A nuestros padres que con su amor, confianza y apoyo incondicional permitieron que lográramos culminar nuestra carrera profesional y estuvieron siempre presentes en este proceso.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios por ser nuestra guía y acompañarnos en el transcurso de nuestra vida, brindándonos paciencia para culminar con éxito nuestras metas propuestas. A nuestros padres por ser nuestro pilar fundamental y habernos apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. Por último, a nuestros amigos que siempre nos animaron constantemente durante este proceso.

**Tabla de Contenido**

1. Planteamiento del problema.....	22
2. Objetivos.....	26
2.1. Objetivo General.....	26
2.2. Objetivos Específicos.....	26
3. Justificación.....	27
4. Alcances.....	29
5. Marco referencial.....	29
5.1. Estado del arte.....	29
5.2. Marco conceptual.....	32
5.3. Marco teórico.....	33
5.3.1. Geometría solar.....	33
5.3.1.1. Movimiento de rotación.....	34
5.3.1.2. Movimiento de traslación.....	34
5.3.1.3. Latitud.....	34
5.3.1.4. La longitud.....	35
5.3.1.5. Ángulos básicos de geometría solar.....	35
5.3.1.6. El azimut.....	35
5.3.1.7. Sistema Ecuatorial.....	35
5.3.1.8. La declinación solar.....	35
5.3.1.9. Ángulo de incidencia solar.....	36
5.3.1.10. Radiación Solar.....	36
5.3.2. Dispositivo de control solar.....	36

5.3.3. Teoría de la iluminación .....	37
5.3.3.1. Luz natural. ....	37
5.3.3.2. Iluminación mediante luz natural.....	38
5.3.4. Iluminación y la salud de las personas.....	38
5.3.4.1. Efectos de la mala iluminación.....	38
5.3.5. Criterios de valoración lumínica.....	39
5.3.5.1. Niveles de luz interior recomendados.....	41
5.3.5.2. Relación entre el nivel de iluminación y el color. ....	42
5.4. Marco Normativo.....	43
6. Metodología .....	45
6.1. Identificación de Necesidades.....	46
6.1.1. Encuesta .....	47
6.1.2. Análisis de los resultados.....	52
6.2. Mapa de empatía .....	53
6.3. Análisis del problema .....	54
6.3.1. Estudio de soleamiento .....	54
6.4. Diagrama Fast: .....	59
7. Formulación de Requerimientos .....	59
7.1. Quality Function Development.....	61
8. Proceso creativo .....	62
8.1. Alternativas .....	62
8.1.1. Alternativa 1.....	65
8.1.2. Alternativa 2.....	67

8.1.3. Alternativa 3.....	71
9. Prototipado.....	74
10. Evaluación de alternativas .....	80
11. Diseño del soporte para alternativa final .....	86
11.1. Requerimientos del soporte.....	86
11.2. Alternativas de soporte .....	87
11.2.1. Alternativa de soporte 1 .....	87
11.2.2. Alternativa de soporte 2.....	90
11.3. Evaluaciones alternativas de soporte .....	94
11.3.1. Evaluación alternativa soporte 1 .....	94
11.3.2. Evaluación alternativa soporte 2.....	94
11.4. Evolución de alternativa de soporte.....	96
12. Arquitectura del producto .....	99
12.1. BOM .....	99
12.2. Render Dispositivo final .....	100
12.3. Costos.....	102
13. Modelo de Producción .....	103
13.1. Proceso de construcción y fabricación del dispositivo .....	103
13.2. Fabricación del soporte metálico .....	107
13.3. Dispositivo Instalado .....	111
14. Testing.....	111
14.1. Protocolo de Verificación .....	111
14.1.1. Justificación. ....	112

14.1.2. Objetivo de la prueba.....	113
14.1.3. Parafernalia.....	113
14.1.4. Actividades.....	113
14.1.5. Resultados de la prueba.....	114
14.2. Protocolo de Validación.....	125
14.2.1. Justificación.....	126
14.2.2. Objetivos.....	126
14.2.3. Parafernalia.....	126
14.2.4. Grupo de la muestra.....	126
14.2.5. Actividades.....	126
14.2.6. Resultados de las validaciones.....	127
14.2.6.1. Resultado de la encuesta de satisfacción.....	127
15. Conclusiones.....	138
16. Recomendaciones.....	139
Referencias.....	141
Apéndices.....	143
Apéndices A. Encuesta para validación de dispositivo.....	143
Apéndices B. Diagrama de modelo de uso.....	144
Apéndices C. Planos técnicos.....	145

### Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Controladores de la iluminación natural.....	30
Tabla 2 Intervalos típicos de iluminación para diferentes áreas, tareas o actividades. Tomado de (Mondelo, et al., 2013).....	39
Tabla 3 Tipos de tareas visuales (UNE 72-112-85).....	40
Tabla 4 Niveles de iluminación recomendados para interiores por la CIE.....	42
Tabla 5: Factores de reflexión de los colores más corrientes. Tomada de (Mondelo, et al., 2013). .....	43
Tabla 6 Azimut y elevación en la ciudad de Bucaramanga .....	55
Tabla 7 Tabla de requerimientos.....	60
Tabla 9 Nivel de prioridad de requerimientos .....	61
Tabla 10 Evaluación alternativa 1.....	81
Tabla 11 Evaluación alternativa 2.....	83
Tabla 12 Evaluación alternativa 3.....	84
Tabla 13 Porcentaje y orden de prioridad de cada alternativa .....	85
Tabla 14 Requerimientos de diseño del soporte .....	86
Tabla 15 Evaluación alternativa 1.....	94
Tabla 16 Evaluación Alternativa 2 .....	95
Tabla 17 Calificación de cada alternativa de soporte .....	95
Tabla 18 Requerimiento a evaluar para protocolo de verificación .....	112
Tabla 19 Medidas del dispositivo desplegado y plegado.....	115
Tabla 20 Porcentaje de reducción .....	116

Tabla 21	Ángulos entre módulos del dispositivo.....	117
Tabla 22	Número de repeticiones para cada cinta .....	118
Tabla 23	Resultado de las mediciones con luxómetro digital.....	120
Tabla 24	Altura a la que se debe ubicar la fuente de luz (CO) .....	122
Tabla 25	Angulo de apertura de acuerdo según la hora del día y posición del sol. ....	124
Tabla 26	Requerimiento a evaluar para protocolo de validación. ....	125
Tabla 27	Resultados de la encuesta de validación .....	128
Tabla 28	Resultados aumento en la iluminación .....	129
Tabla 29	Resultados facilidad de uso.....	130
Tabla 30	Resultado percepción de estética .....	131
Tabla 31	Resultado percepción de seguridad.....	132
Tabla 32	Resultado percepción diseño del dispositivo .....	132
Tabla 33	Toma de medida con luxómetro a tres distancias diferentes .....	134
Tabla 34	Incremento de lumens en la habitación con dispositivo accionado .....	135

### Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Gráfica del nivel de estrés con respecto al tipo de iluminación (Kerkhof) .....	23
Figura 2 Clasificación de los espacios de trabajo por piso .....	47
Figura 3 Distancias del puesto de trabajo con respecto a la ventana .....	47
Figura 4 Percepción de luz natural para la realización de actividades .....	48
Figura 5 Uso de elementos para bloquear el paso de los rayos solares .....	48
Figura 6 Grafica de daños a inmuebles u objetos .....	49
Figura 7 Uso de iluminarias para el aumento de iluminación .....	49
Figura 8 Tiempo de uso de iluminarias.....	50
Figura 9 Percepción de estrés .....	50
Figura 10 Percepción de estrés relacionado con la iluminación.....	51
Figura 11 Preferencia de tipo de luz .....	51
Figura 12 Síntomas presentados al finalizar la jornada laboral .....	52
Figura 13 Azimut para la ciudad de Bucaramanga.....	56
Figura 14 Modelo 3d del azimut y la elevación en la ciudad de Bucaramanga.....	57
Figura 15 Edificio la Hispana .....	58
Figura 16 Entrada de la luz natural en el edificio La hispana.....	58
Figura 17 Diagrama Fast.....	59
Figura 18 Matriz Qfd .....	61
Figura 19 Patrón Miura ori .....	63
Figura 20 Modulo patrón Miura .....	64
Figura 22 Alternativa 1 .....	66

Figura 23 Frontal Alternativa 1.....	66
Figura 24 Render Alternativa 1.....	67
Figura 25 Alternativa 2.....	67
Figura 26 Patrón alternativa 2.....	68
Figura 27 Rebote de ángulo entre caras alternativa 2.....	68
Figura 28 Evolución alternativa 2.....	69
Figura 29 Patrón alternativa 2.....	70
Figura 30 Render alternativa 2 desplegada.....	70
Figura 31 Render alternativa 2 colapsada.....	71
Figura 32 Alternativa 3.....	71
Figura 33 Patrón alternativa 3.....	72
Figura 34 Alternativa 3 colapsada.....	73
Figura 35 Render alternativa 3.....	73
Figura 36 Render alternativa 3 colapsado.....	73
Figura 37 Prototipo patrón de miura.....	74
Figura 38 Prototipo patrón 1.....	75
Figura 39 Prototipo alternativo 2 en papel.....	76
Figura 40 Prototipo alternativo 2 con papel reflectivo.....	76
Figura 41 Prototipo de alternativa 2 con espesor de 2 mm.....	77
Figura 42 Prototipo de alternativa 2 con espesor de 5 mm.....	77
Figura 43 Prototipo de alternativa 2 con espesor de 1cm.....	77
Figura 44 Prototipo de alternativas colapsadas.....	78
Figura 45 Prototipo Modulo alternativa 3.....	79

Figura 46 Prototipo alternativa 3 .....	79
Figura 47 Uniones alternativas 3 .....	80
Figura 48 Alternativa 1 a evaluar.....	80
Figura 49 Alternativa 2 a evaluar.....	82
Figura 50 Alternativa 3 .....	83
Figura 51 Alternativa de soporte 1.....	87
Figura 52 Piezas Soporte alternativa 1.....	87
Figura 53 Sistema de sujeción alternativa soporte 1.....	88
Figura 54 Accionamiento de alternativa soporte 1 .....	88
Figura 55 Agarradera del soporte 1 .....	89
Figura 56 Sujeción del módulo.....	89
Figura 57 Desplazamiento del dispositivo con alternativa de soporte 1.....	90
Figura 58 Render alternativa soporte 1 .....	90
Figura 59 Rieles laterales alternativa soporte 2 .....	91
Figura 60 Alternativa soporte 2 con el dispositivo .....	91
Figura 61 Agarradera soporte 2 .....	92
Figura 62 Alternativa soporte 2 En ventana .....	92
Figura 63 Accionamiento de la alternativa soporte 2 .....	93
Figura 64 Render alternativa soporte 2.....	93
Figura 65 Evolución alternativa de soporte .....	96
Figura 66 Abrazaderas del soporte .....	97
Figura 67 Rotación de Agarradera.....	97
Figura 68 Marco del soporte.....	98

Figura 69 Soporte del dispositivo .....	98
Figura 70 Bill of materials .....	99
Figura 71 Dispositivo colapsado.....	100
Figura 72 Dispositivo semidesplegado .....	100
Figura 73 Dispositivo completamente desplegado .....	100
Figura 74 Soporte accionado .....	101
Figura 75 Modelo de costos.....	102
Figura 76 Patrón del dispositivo para corte a laser de piezas en acrílico .....	103
Figura 77 Orden de unión de adhesivos al acrílico.....	104
Figura 78 Superposición de submódulos .....	104
Figura 79 Unión de Submódulos en acrílico con cloruro de metileno .....	104
Figura 80 Módulos del dispositivo .....	105
Figura 81 Módulos totales unidos.....	105
Figura 82 Película de vinilo polarizado unido a módulos de acrílico.....	105
Figura 83 Diagrama del proceso de unión entre módulos .....	106
Figura 84 Unión de módulos para formar una fila plegable .....	106
Figura 85 Unión de todos los módulos del dispositivo.....	107
Figura 86 Agarraderas sobre el marco metálico .....	107
Figura 87 Marco metálico.....	108
Figura 88 Barra móvil.....	108
Figura 89 Ensamble soporte metálico.....	109
Figura 90 Sección de tubo soldado al marco metálico .....	109
Figura 91 Ensamble del soporte metálico.....	110

Figura 92 Pivote para la instalación.....	110
Figura 93 Dispositivo instalado en la ventana .....	111
Figura 94 Toma de medida del ancho del dispositivo desplegado .....	115
Figura 95 Toma de medida del largo .....	115
Figura 96 Toma de medida del largo plegado .....	115
Figura 97 Toma de medida del ancho plegado .....	115
Figura 98 Toma del ángulo desplegado .....	116
Figura 99 Toma de ángulo plegado .....	116
Figura 100 Toma del peso del dispositivo .....	117
Figura 101 Dispositivo para verificaciones .....	119
Figura 102 Toma de medida con luxómetro digital.....	119
Figura 103 Maqueta de geometría solar.....	121
Figura 104 Análisis trigonométrico .....	121
Figura 105 Ubicación del módulo dentro de la maqueta.....	123
Figura 106 Ubicación del módulo dentro de la maqueta .....	124
Figura 107 Reflexión de la luz sobre un módulo con cambio de orientación.....	125
Figura 108 Usuario accionando el dispositivo.....	130
Figura 109 Toma de medida con luxómetro digital sin dispositivo.....	133
Figura 110 Toma de medida con luxómetro digital con dispositivo .....	133
Figura 111 Nivel de lúmenes en la habitación con y sin el dispositivo.....	136
Figura 112 Módulos para inyección .....	139
Figura 113 Patrón de plegado modificado .....	140
Figura 114 Modelo de uso .....	144

Figura 115 Planos submódulo 1.....	145
Figura 116 Planos submódulo 2.....	146
Figura 117 Planos agarradera del soporte.....	147
Figura 118 Planos Abrazadera del soporte .....	148
Figura 119 Planos marco del soporte.....	149
Figura 120 Planos barra deslizadora.....	150
Figura 121 Plano manija de agarre .....	151

## Glosario

Basado en la publicación 17 de la CIE (2011), titulado “International Lighting Vocabulary” se extrajeron algunos conceptos necesarios para el desarrollo del trabajo como:

**Ambiente visual:** es el espacio total que se puede ver desde una posición particular, moviendo la cabeza y los ojos.

**Calidad del color:** la calidad del color de una fuente luminosa es el efecto de dicha fuente sobre el color de los objetos, en comparación con su color bajo una iluminación de referencia.

**Campo visual:** es el área o extensión del espacio físico visible al ojo en una posición determinada.

**Centelleo:** impresión visual de intermitencia, alternancia o variación en la forma como se presenta la luz.

**Deslumbramiento:** es el reflejo que resulta de las reflexiones especulares generadas en superficies pulidas o relucientes.

**Efecto estroboscópico:** es la inmovilización o cambio de movimiento aparentes de un objeto, cuando se ilumina mediante una luz de frecuencia apropiada e intensidad variable.

**Flujo luminoso:** es la medida de la potencia luminosa percibida. La medida de la potencia total emitida, en que está ajustada para reflejar la sensibilidad del ojo humano a diferentes longitudes de onda. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es el lumen (lm).

**Índice general de calidad del color:** es el valor mediante el cual se establece el grado al cual los objetos iluminados por una fuente tienen un color esperado relativo a una iluminación de referencia.

**Intensidad luminosa:** cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido. Su unidad de medida es la CANDELA.

**Iluminancia:** es la densidad del flujo luminoso que incide sobre un punto. En la práctica, la iluminancia promedio de una superficie determinada se calcula dividiendo el flujo que llega a la superficie entre el área de la superficie iluminada.

**Iluminación general:** es la iluminación de diseño calculada para iluminar toda un área con el mismo nivel de iluminancia.

**Iluminación localizada:** es la iluminación de diseño para iluminar un interior y simultáneamente ofrecer una mayor iluminancia en un sector o sectores particulares del interior.

**Iluminación puntual:** es la iluminación desinada a una tarea visual específica, adicional a la iluminación general y controlada en forma separada de esta última

**Luminancia:** es la medición física del estímulo que produce la sensación de brillo, en términos de la intensidad luminosa en una dirección determinada E por unidad de área de una superficie emisora, trasmisora o reflectora. Corresponde a la intensidad luminosa de la luz emitida o reflejada en una dirección determinada desde un elemento de la superficie, dividida por el área del elemento proyectado en la misma dirección

**Reflejo:** es la incomodidad o disminución de la visión que se experimenta cuando algunas partes del campo visual son excesivamente brillantes con relación al brillo general de los alrededores, a los cuales el ojo ya se encuentra adaptado.

## Resumen

**Título:** Dispositivo plegable de captación y regulación del nivel de iluminación natural en edificaciones

**Autor:** Jairo Alberto Agudelo Gómez, Marly Dayarine Vargas Muñoz.

**Palabras Clave:** Dispositivo, plegable, iluminación, incidencia, redireccionar.

**Descripción:** Los beneficios que aporta la correcta iluminación natural a nuestro organismo y puestos de trabajo son diversos y numerosos. Entre ellos destaca la ayuda que proporciona a la concentración hacia nuestro trabajo, el aumento de la productividad, el estado anímico, la aportación de una saludable sensación de bienestar, la reducción de la irritabilidad la regulación del sueño, y además equilibra nuestro reloj biológico. Por el contrario, la ausencia de luz natural o una incorrecta iluminación del puesto de trabajo provocan efectos nocivos en nuestro día a día. Fatiga visual y dolor de cabeza suelen ser los síntomas que aparecen en primer lugar, causando un aumento de la sensación de cansancio y una disminución del rendimiento y la productividad de los trabajadores.

Teniendo en cuenta esto se diseñó un dispositivo captador de luz natural que se pliega según la incidencia de luz solar capaz de redireccionar los rayos lumínicos aprovechando de manera óptima la luz natural en interiores.

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Físico-Mecánicas Escuela de Diseño Industrial. Director: Diego Fernando Becerra Ramírez. Magister en tecnologías aplicadas a la educación. Codirector: Clara Isabel López Gualdrón. Doctorado en Ingeniería Área Gestión Tecnológica

### Abstract

**Title:** Folding device for capturing and regulating the level of natural lighting in buildings

**Author(s):** Jairo Alberto Agudelo Gómez, Marly Dayarine Vargas Muñoz.

**Key Words:** Device, folding, lighting, incidence, redirecting

**Description:** The benefits that the correct natural lighting brings to our organism and workplaces are diverse and numerous. Among them, it helps to concentrate on our work, increases productivity, improves our mood, gives us a healthy sense of well-being, reduces irritability, regulates sleep and balances our biological clock. On the other hand, the absence of natural light or inadequate lighting in the workplace has harmful effects on our daily lives. Visual fatigue and headaches are usually the symptoms that appear first, causing an increased feeling of tiredness and a decrease in the performance and productivity of workers.

Considering this, a natural light capturing device was built those folds according to the incidence of sunlight, capable of redirecting light rays, optimally taking advantage of natural light indoors.

\* Degree Work

\*\* Faculty of physical-Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Director: Diego Fernando Becerra Ramirez. Master in technologies applied to education. Co-director: Clara Isabel López Gualdrón. PhD in Engineering Technology Management Area

## Introducción

Desde tiempos antiguos la iluminación ha sido un tema de gran importancia para el óptimo desarrollo del ser humano, aunque la capacidad del hombre para adaptarse a su entorno es extraordinaria, su bienestar, su estado de ánimo y su fatiga se ven afectados por la luz. Sin luz, las cosas que lo rodean carecerían de color, forma y perspectiva (Mora, 2017), llegando a ser la iluminación de espacios un tema de estudio que le ha dado a la luz un valor distinto que el meramente visual.

Hoy en día se tienen en cuenta diferentes factores a la hora de hablar de iluminación, no solo consideraciones físicas del entorno, sino también los efectos que esta pueda tener sobre las personas y las tareas a realizar, llegando también a incidir de forma positiva o negativa sobre temas laborales y económicos afectando la productividad. Por otro lado, se han hecho análisis de la influencia de la luz artificial y luz solar en espacios de trabajo en donde se ha demostrado que la luz proveniente del sol afecta de manera positiva el estado emocional y psicológico de los trabajadores (Tregenza, Peter, & Wilson, 2011).

A partir de estos estudios se han presentado soluciones que se basan en el aprovechamiento de la luz natural para la iluminación de interiores desde la perspectiva de la arquitectura bioclimática, la cual consiste en tener en cuenta el clima y las condiciones del entorno para ayudar a conseguir el máximo confort al interior mediante la adecuación del diseño, la geometría, la orientación y la construcción del edificio (Fuentes, 2007).

En condiciones normales se toman en cuenta la calidad de la iluminación dada por arquitectura del edificio respecto a geometría solar del entorno junto con los estudios de ergonomía en el trabajo para diseñar puestos de trabajo, se consideran los beneficios que presenta la luz natural, así como el control que se tiene sobre la luz artificial, de tal forma que el

trabajador cuente con el nivel de iluminación adecuado para la realización de una tarea en específico. Sin embargo, la situación causada por el SARS Cov 2 y a las regulaciones de distanciamiento social, han obligado a muchos trabajadores y estudiantes a abandonar dichas instalaciones y sus comodidades para adaptarse a situaciones atípicas en donde deben realizar sus labores en nuevos espacios desde la modalidad del teletrabajo.

Las personas han desplazado su trabajo a sus viviendas, acomodando espacios improvisados en su hogar para generar espacios mixtos de donde puedan convivir las tareas laborales, así como las actividades de su vida diaria. El problema con esta dualidad reside en que las edificaciones pensadas para la vivienda pueden no contar con una apropiada adecuación lumínica propia de un espacio laboral. En ese sentido, una iluminación deciente, así como una iluminación excesiva, desencadena una serie de preocupaciones por los posibles efectos sobre las personas relacionados con la fatiga visual (Mondelo, et al., 2013).

En respuesta a esta situación, Se han diseñado diferentes dispositivos y elementos como cortinas, persianas y lámparas a fin de intentar compensar la falta o el exceso de luz, así como la mala orientación que presentan algunas edificaciones respecto al sol, esperando que el usuario pueda lograr un control sobre la cantidad de iluminación dentro del espacio que ellos mismos designan como espacio de trabajo, pues no existe un dispositivo que se encargue de los dos problemas al tiempo teniendo como base la iluminación proveniente del sol.

Con base en el análisis del contexto realizado, el presente trabajo de grado en modalidad de investigación reúne la información pertinente a esta problemática y pretende plantear los lineamientos o bases para el diseño y fabricación de un dispositivo captador de luz natural plegable capaz de redireccionar los rayos lumínicos regulando la iluminación en interiores.

## 1. Planteamiento del problema

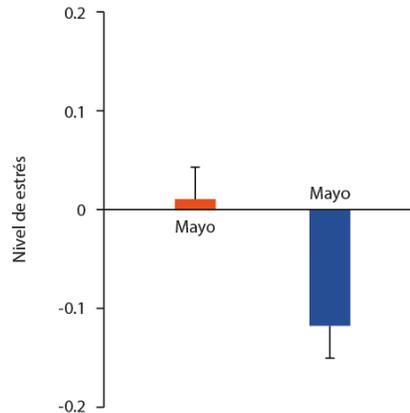
La luz natural ha tomado un papel importante debido al aumento del consumo energético a causa de la implementación de luz artificial durante el día. Según estudios, edificios y oficinas con horarios diurnos pueden ahorrar del 20% al 40% en consumo de luz y refrigeración con el uso apropiado de luz natural (Tregenza, Peter, & Wilson, 2011).

La luz natural transmitida hacia el interior de las edificaciones y a los espacios habitables, es la que permite ver y desarrollar nuestras actividades, para el caso de iluminación general en zonas poco frecuentadas o que tiene necesidades visuales poco sencillas se requieren una iluminancia entre 20 y 300 lux (operación de maquinaria pesada), iluminación general para trabajo en interiores requiere una iluminación entre 500 lux y 2000 lux (trabajo en oficina), iluminación adicional en tareas visuales exactas va desde los 3000 a 20000 lux (operaciones quirúrgicas) (Retilap, 2010).

Se ha investigado los efectos de la luz natural en los seres humanos, la forma en la que el cuerpo responde a las diferentes calidades y cantidades de este estímulo lumínico, y cómo la ausencia de luz natural genera tanto trastornos fisiológicos como psicológicos, tal como se puede apreciar en la figura 1, donde se muestran los resultados de un estudio que relaciona el nivel de estrés de acuerdo al tipo de iluminación que usan dos grupos de trabajo, en esta se puede ver que los trabajadores que utilizan una combinación de luz diurna y luz artificial de en el mes de mayo redujeron su nivel de estrés a comparación de los trabajadores que solo utilizaron luz artificial, (Mondelo, et al., 2013).

**Figura 1**

*Gráfica del nivel de estrés con respecto al tipo de iluminación (Kerkhof)*



*Nota.* Nivel de estrés registrado en unas oficinas con luz artificial y otra con una combinación de luz natural y artificial. Modificada de (Kerkhof, 2003)

Los resultados obtenidos de los estudios sobre la luz natural y el trabajo despertaron el deseo de poder regular las condiciones lumínicas naturales para optimizar su uso en el interior de edificaciones. Sin embargo, este deseo se ha visto truncado pues la iluminación natural está determinada por factores cíclicos, como la posición de la Tierra respecto al sol, por la hora del día, por el acimut (Ángulo que se utiliza para conocer la orientación con respecto a la tierra) y latitud territorial (Fuentes,2007), esto quiere decir, que la incidencia de la luz natural disponible de un sitio específico y varía de manera significativa dependiendo de la posición de la edificación. La incidencia de los rayos solares cambia dependiendo del momento y ubicación territorial, estando ligado directamente a las condiciones del entorno.

Por esta razón, muchos espacios designados durante la pandemia para trabajar en el hogar pueden no contar con las condiciones de iluminación natural correctas, por lo que los trabajadores se ven en la obligación de instalar diferentes artefactos que simulan o imitan las características del entorno laboral necesario para la ejecución de la jornada productiva. Los

artefactos como las luminarias deben hacer parte de la condición de iluminación en los espacios interiores durante la jornada laboral, en caso de que el nivel de iluminación sea insuficiente; otro escenario que también es frecuente se refiere al exceso de lúmenes por incidencia directa de los rayos solares generando deslumbramiento y otras incomodidades por lo cual se requiere de la instalación de artefactos o de elementos como persianas, para bloquear la luz cuando la intensidad lumínica es muy fuerte, además de sistemas de ventilación de acuerdo a las características y requerimientos de una tarea específica. Aunque estos artefactos ayudan a mitigar los aspectos negativos, traen consigo ciertas desventajas, por ejemplo, el uso de luminarias puede mejorar el nivel de iluminación en el espacio de trabajo, pero también va a significar un aumento en el consumo energético y finalmente va a tener una repercusión en el factor económico, adicional a esto, puede generar otras afectaciones a nivel psicológico, caso contrario a los puestos de trabajo que emplean luz natural.

Cuando la intensidad lumínica ambiental se encuentra en niveles altos produciendo deslumbramientos (es aconsejable no sobrepasar las 500 candelas/m<sup>2</sup>) (Ministerio de trabajo de asuntos sociales, s.f), se opta por adicionar otros elementos, estos pueden ser fijos, como los vidrios polarizados o calcomanías micro perforadas ubicadas en el cristal de la ventana, o pueden ser elementos móviles como las cortinas o persianas para bloquear los rayos del sol, estas soluciones impiden otros factores como la ventilación y la comunicación del ser humano con el exterior, lo que repercute en la productividad. (Mondelo, Gregori, González, & Gómez, 2013).

También se han dado soluciones desde el punto de vista arquitectónico, en donde se hace uso de aditamentos fijos que se encargan de reflejar parte de los rayos solares dentro de las edificaciones, transportando la luz hacia el interior. El problema de estos elementos es su funcionamiento estático, como se dijo anteriormente, el aprovechamiento de la luz solar tiene

muchas consideraciones, pues es un fenómeno dinámico y depende directamente de la geometría solar entre otros factores, se ha demostrado que otros dispositivos que trabajan con energía solar como los seguidores de luz natural, son un 30% más eficientes que las alternativas estáticas, ya que como su nombre lo indica, estos dispositivos tienen la capacidad de seguir el ángulo de incidencia del sol.

Bajo ese concepto se puede decir que las soluciones disponibles en el mercado solo consiguen ser de utilidad en una hora fija correspondiente al momento en el día en el que los rayos del sol se reflejan con el ángulo adecuado para lograr la incidencia máxima en el interior de los edificios. Sin embargo, al limitarse su funcionalidad en ciertas franjas horarias esta solución es deficiente para iluminar un espacio de trabajo a lo largo de una jornada laboral. (Vásquez & Jeison 2012).

Teniendo esto en cuenta, se busca que la solución de diseño planteada se pueda adaptar manualmente a los diferentes ángulos de incidencia de luz posibles durante el transcurso del día.

### **Pregunta de diseño**

¿En qué medida es posible regular la iluminación natural para la ejecución de tareas con requerimientos visuales medianos, en el interior de edificaciones de estratos 3 y 4 en la ciudad de Bucaramanga, implementando un dispositivo de control solar con base en técnicas de plegado?

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

Diseñar un dispositivo plegable de control solar, implementando técnicas de plegado, orientado a la regulación de los niveles de iluminación natural en espacios interiores.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Estudiar los niveles de iluminación al interior de edificaciones con favorabilidad de la incidencia de los rayos solares, es decir, para viviendas de estratos 3 y 4 que cuenten con más de 6 pisos, en la ciudad de Bucaramanga.

Prototipar un dispositivo basado en el plegado cuya libertad angular permita redireccionar de manera controlada la incidencia de los rayos solares.

Analizar y evaluar los resultados obtenidos a partir de las validaciones y verificaciones del prototipo.

### 3. Justificación

El proyecto fue planteado inicialmente para dar una alternativa a la situación atípica causada por el SARS-Cov-2, donde el ser humano ha tenido que reorganizarse y adecuarse en algunos casos de forma improvisada a espacios de trabajo no idóneo. En su momento, se implementaron medidas de contingencia donde se han adaptado elementos como fuentes de luz adicionales con el fin de simular ambientes de trabajo, lo que ha provocado diversas problemáticas como el incremento en el gasto energético en los hogares debido a la adecuación de espacios de trabajo, entre otros (Miñarro Yanini, Margarita, 2021). Una vez transcurridos dos años desde el inicio de la pandemia, se reconoce que el trabajo en casa o teletrabajo es una forma viable para cumplir con las funciones laborales, por lo cual ya es aceptado la realización del trabajo en remoto como una forma de contratación y prestación de servicios laborales.

La iluminación natural mejora la sensación de confort lumínico en ambientes laborales ya que mejora el rendimiento visual, aumentando la calidad de percepción de los colores y facilitando la realización de tareas que requieren una estimación sobre el mismo, también afecta la conciencia sobre el entorno y el humor siendo estos factores que afectan el desempeño en el trabajo. (Boyce, et al., 2003).

Cuando las condiciones lumínicas no son adecuadas para la realización de una tarea específica, se pueden presentar ciertos efectos negativos en la salud de las personas expuestas, estos efectos pueden ser físicos como: las cefalalgias que son dolores de cabeza causados por la fatiga visual y el estrés muscular debido a los sobreesfuerzos visuales para enfocar al trabajar bajo condiciones de deslumbramiento (Mondelo, et al., 2013).

Entre los trastornos en el cuerpo se pueden encontrar las afecciones oculares que pueden ser causadas debido a la exposición a la radiación como luz, tales como: la pérdida de la agudeza

visual, dolor e inflamación de los párpados, fatiga ocular, pesadez, lagrimeo, enrojecimiento e irritación, estas patologías pueden agravar o acentuar otros efectos visuales como los defectos de refracción visual como la miopía, hipermetropía, presbicia y astigmatismo; también se pueden presentar efectos psicológicos como la fatiga mental y sociales como los efectos anímicos y cambios de humor.

De igual forma, la excesiva iluminación puede ser tan contraproducente como la iluminación deficiente, se sabe que en un día soleado se pueden llegar a percibir valores de intensidad lumínica de 20.000 lx, es decir cuatro veces el valor de iluminación recomendado para trabajos de oficina (Mondelo, et al., 2013), esto fácilmente se puede convertir en una molestia si no se toman medidas al respecto, Un valor mayor al recomendado puede generar focos de concentración, deslumbramientos y reflejos no deseados que afectan indirectamente a la productividad en el trabajo pues se convierten en distractores a los que el cerebro inconscientemente les presta atención (Mondelo, et al., 2013), También se debe considerar el impacto térmico, la luz del sol, al tratarse de un fenómeno de radiación afecta de manera directa la temperatura de las superficies en las que impacta pudiendo inclusive llegar a causar daños de equipo y materiales además de daños en la salud de los trabajadores.

Bajo estos planteamientos el diseño de iluminación en los espacios de trabajo debe considerar las exigencias visuales dependiendo de las diferentes actividades que el sujeto va a desempeñar, con el fin de evitar aspectos negativos, que pueden afectar el flujo de trabajo. Por lo tanto, para adaptar con éxito un espacio laboral en el hogar es necesario regular las condiciones lumínicas, sin afectar negativamente los demás factores que intervienen en el ambiente de trabajo de tal forma que satisfaga las necesidades del hogar y de las tareas a realizar.

Se debe pensar en soluciones que además de regular el nivel de luminosidad, también evitan aspectos negativos como los focos de luz directa del sol, sin impedir la ventilación del lugar, ni la conexión entre el usuario y el entorno, mejorando así el confort visual, el bienestar anímico, el desempeño y finalmente el aumento en la productividad laboral. La pertinencia del proyecto está en generar una solución que permita mejorar la iluminación natural por medio de un dispositivo de captación solar basado en origami que se ha de implementar en espacios residenciales que han debido acondicionar como espacios de trabajo en remoto, de tal forma que facilite tener un control sobre la cantidad de luz natural proyectada dentro de la edificación al momento de realizar tareas de requerimientos visuales medianos

#### **4. Alcances**

A través de un proceso proyectual de diseño, se construirá un prototipo funcional de un dispositivo para regular los niveles de iluminación natural al interior de edificaciones, mejorando las condiciones del puesto de trabajo.

El proyecto se delimita en los siguientes alcances propuestos:

Análisis de los resultados del nivel de iluminación al interior de una edificación específica.

Diseño de una estructura plegable para la redirección de los rayos solares.

Construcción de un prototipo funcional a nivel de pruebas de laboratorio.

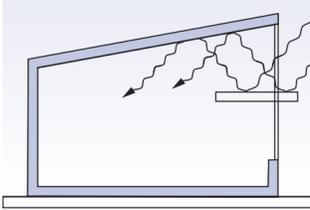
Validación del dispositivo desarrollado.

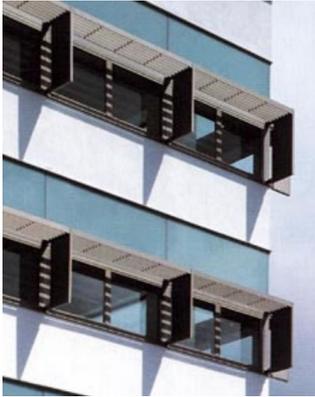
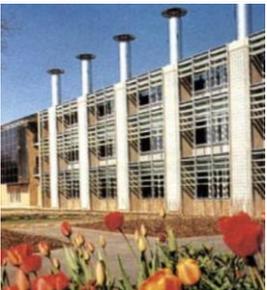
#### **5. Marco referencial**

##### **5.1. Estado del arte**

En la Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. (Instituto para la diversificación y ahorro de energía, 2005) se distinguen algunos controladores, y además se analizan otras soluciones.

**Tabla 1:***Controladores de la iluminación natural*

Nombre	Gráfica	Descripción
Persiana		Elemento que se dispone en las ventanjas para controlar la penetración de luz natural, este dispositivo puede ser manual o electrónico.
Voladizo		Elemento que sobresale horizontalmente de la fachada de un edificio ubicado sobre aberturas de luz natural como ventanas, bloqueando parcialmente la radiación solar directa en ángulos elevados
Estantes de luz		Elemento dispuesto horizontalmente por encima del nivel de los ojos protegiendo las zonas interiores próximas a las ventanas y redireccionando parte de la luz hacia el interior del edificio.
Alféizar		Elemento rígido e inmóvil dispuesto de forma horizontal en la parte inferior de una ventana, este aditamento releja la luz que incide sobre el hacia el interior de la edificación.

<p>Apantallamiento vertical</p>		<p>Elemento de control situado en el exterior de la fachada de un edificio y fijado verticalmente sobre uno o ambos costados de una ventana, este tipo de elemento bloquea los rayos solares con ángulos bajos que inciden sobre las ventanas</p>
<p>Celosía</p>		<p>Una celosía se define como un elemento exterior o interior compuesto por laminas situadas en la totalidad de una abertura vertical, estas laminas pueden ser fijas o móviles</p>
<p>Paralúmenes</p>		<p>Elemento conformado por una serie de láminas paralelas que pueden ser fijas o regulables que al cerrarse forman un panel, bloqueando los rayos solares.</p>
<p>Tubo solar</p>		<p>Consiste en un cilindro hueco con interior reflectante que se instala en el tejado o en la fachada de una edificación. Este sistema capta la luz solar a través de una cúpula, la transporta por el tubo y la lleva hasta el interior de la estancia de forma difuminada a través de un plafón cóncavo.</p>

*Nota.* Esta tabla muestra los tipos de controladores solares más comunes en el mercado. Modificado de (Instituto para la diversificación y ahorro de energía, 2005).

## **5.2. Marco conceptual**

El término luz se ha usado para definir muchas cosas a lo largo de los años, desde significados románticos y poéticos, hasta símbolos religiosos y académicos, pues la luz ha sido un tema de interés desde el principio del tiempo. Según la RAE, la luz se define como el agente físico que hace visibles los objetos. [...] son ondas electromagnéticas que propagan la energía producida por oscilaciones de campos eléctricos y magnéticos y no precisan un medio material para hacerlo (Espinosa, 2016).

La naturaleza de la luz está caracterizada por el espectro de frecuencias que componen su distribución, el ojo humano solo puede captar una parte de la luz llamada “espectro visible”. “Esta percepción de la luz se encuentra ligada a la fisonomía del ojo de cada individuo, por lo que esta percepción cambia de persona a persona” (Espinosa, 2016).

La visión depende de la cantidad y calidad de luz percibida por el ojo humano y su nivel de iluminación, la cual se define como la cantidad y calidad de la luz que incide sobre una superficie y se refleja (Mondelo, Gregori, & Barrau, Ergonomía 1 fundamentos, 1994).

La percepción de la iluminación también cambia dependiendo de su fuente, existen fuentes de iluminación natural y artificial. Estas últimas nacen en respuesta a la variabilidad de la iluminación suministrada por las fuentes naturales como el sol, buscando satisfacer todas las necesidades visuales, posibilitando que las personas sean capaces de realizar sus tareas aun en condiciones de baja iluminación natural en el interior de edificaciones.

El control de la iluminación natural al interior contribuye a la mejora significativa de la energía, salud, confort y productividad, por lo que surgió la necesidad de diseñar dispositivos de

control solar que son elementos instalados en las edificaciones, teniendo como objetivo principal regular la incidencia de los rayos solares, bloqueando el paso de estos, cuando los rayos de luz son muy fuertes o por el contrario redireccionarlos hacia el interior cuando son leves. Estos dispositivos se han implementado de acuerdo con la geometría solar, siendo esta una serie de consideraciones a tomar en cuenta para el proceso de diseño de estos controladores ya que “trata en principio de los recorridos aparentes del sol en el cielo y de su localización en distintas fechas y horas” (Ázqueta, 2006).

Este conocimiento permite entender y comprender mejor de la trayectoria de los rayos solares, y cómo influye en la iluminación de las edificaciones, permitiendo lograr avances en la construcción de estructuras arquitectónicas.

La gran mayoría de los dispositivos controladores de luz natural son estáticos, lo cual crea soluciones deficientes debido a la poca adaptabilidad a la geometría solar de la zona, en vista a esto se han implementado estructuras cinéticas que según la rae se definen como estructuras “Pertencientes o relativas al movimiento” que realizan acciones simples como girar o moverse en una dirección para intentar responder a las necesidades del ambiente.

### **5.3. Marco teórico**

#### ***5.3.1. Geometría solar***

En el diseño arquitectónico es importante analizar el tema de la geometría solar, teniéndolo en consideración para optimizar características térmicas, económicas, higiénicas y psicológicas. Estas consideraciones están dadas por la localización y orientación geográfica además de los aspectos formales de un edificio respecto a la fuente primaria de calor y luz en la tierra. (Lacomba, Ruth, et al., 1991). La geometría solar trata de los recorridos del sol y de su

localización en distintas fechas y horas, para de ese modo predecir su interacción con planos y volúmenes en el espacio, en función a su ubicación relativa (Ázqueta, 2006).

Es importante analizar la geometría solar, ya que podemos entender que con el paso del tiempo se le ha dado bastante importancia a disminuir el consumo energético, si no hay una buena iluminación natural, se tiene mayor consumo de iluminación artificial, por lo tanto, hay mayor gasto energético, además debemos tenerlo como consideración partiendo de la forma en la que la geometría solar influye de manera directa sobre aspectos tanto físicos como psicológicos del ser humano debido a la iluminación natural presente en edificaciones, es por esto que se debe considerar la trayectoria solar para mejorar la ambientación a los espacios de trabajo, disminuyendo así el gasto energético, y aumentando la productividad del trabajador.

La Tierra realiza dos movimientos principales que son: el de traslación alrededor del Sol y el de rotación, estos movimientos determinan la distribución de la radiación solar sobre la superficie terrestre.

**5.3.1.1. Movimiento de rotación.** La tierra rota sobre su propio eje en sentido contrario a las manecillas del reloj, para dar un giro completo de  $360^\circ$  en 24 horas 0 minutos y 57.33 segundos; el eje de la tierra tiene una inclinación de  $23^\circ 27'$  (Fuentes, 2007).

**5.3.1.2. Movimiento de traslación.** La traslación de la Tierra es el movimiento de este planeta alrededor del Sol, en un año, a una velocidad de 30 km/seg (Fuentes, 2007).

**5.3.1.3. Latitud.** Es la medida angular de la distancia entre un punto a saber y el ecuador, se usa para establecer la localización de un lugar, tanto en el sentido norte ( $0^\circ$  a  $90^\circ$ ), como en el sentido sur  $-90^\circ$  a  $0^\circ$  (Fuentes, 2007).

**5.3.1.4. La longitud.** Medida angular de la distancia entre un punto a saber y el meridiano de Greenwich, la medida angular se localiza a partir de la proyección del Ángulo en cuestión, tomando como base la intersección del plano del ecuador, plano de Greenwich y el eje terrestre, se usa para establecer la localización de un lugar en sentido este, variación angular  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , y sentido oeste variación angular  $-180^\circ$  a  $0^\circ$  (Fuentes, 2007).

**5.3.1.5. Ángulos básicos de geometría solar.** Para determinar los ángulos de la geometría solar básica, un supuesto básico es que las estrellas, incluyendo el sol, se unen en la superficie de la esfera celeste. Esta esfera imaginaria tiene un radio arbitrario y su centro depende de los diferentes sistemas de coordenadas. El radio es a gran distancia suficientemente de la tierra, así que la Ubicación del sol y otras estrellas pueden verse como puntos individuales (Fuentes, 2007).

**5.3.1.6. El acimut.** El acimut solar ( $\alpha$ ) es la distancia angular entre el sur y la proyección horizontal de los rayos del sol. Un ángulo de acimut solar positiva indica una posición al este del sur y un ángulo de acimut negativo indica al oeste del sur. Se mide de debido al sur en el hemisferio norte y debido al norte en el hemisferio sur.

**5.3.1.7. Sistema Ecuatorial.** El plano de referencia es el Ecuador. Los dos ángulos para la determinación de la posición del sol sobre la esfera celeste en cualquier momento son el ángulo de declinación solar ( $\delta$ ) y el ángulo de la hora.

**5.3.1.8. La declinación solar.** Es el ángulo entre los rayos del sol y el plano del Ecuador de la tierra. Varía por un ángulo de hasta  $\pm 23^\circ 27'$  ( $\pm 23,45$ ). Esta variación hace que los cambios de estación, con su período desigual de la luz y la oscuridad. La declinación solar alcanza su valor máximo, ( $+23.45^\circ$ ) en 21 de junio. Este día se llama solsticio de verano en el hemisferio norte y solsticio de invierno en el hemisferio sur. Durante el solsticio de verano, todos

los lugares al norte del Ecuador tienen longitudes de día más de doce horas, mientras que todas las localidades al sur del Ecuador tienen días longitudes menos de doce horas. El valor mínimo, (-23.45 °) se alcanza en el 20 de diciembre (Fuentes, 2007).

**5.3.1.9. Ángulo de incidencia solar.** El ángulo de incidencia solar es el ángulo entre la normal de la superficie y los rayos del sol, es muy útil, ya que permite un cálculo relativamente simple de la incidencia de radiación sobre una superficie. Las relaciones angulares entre el incidente de la radiación solar directa sobre un plano, como una superficie de área de pared o vidrio, orientado arbitrariamente en relación con la tierra pueden describirse en términos de varios ángulos (Fuentes, 2007).

**5.3.1.10. Radiación Solar.** La radiación solar es el resultado de una serie de complejos procesos llevados a cabo en las capas concéntricas del Sol, la radiación que llega consta de dos elementos la luz y el calor, la radiación global es la cantidad total de energía solar que alcanza una fracción de superficie terrestre en un plano horizontal y está formada por dos componentes la radiación directa y la difusa, la radiación difusa proviene de la difusión y las múltiples reflexiones que sufre la radiación en su paso por la atmósfera, se le llama radiación total o global a la suma de las dos componentes (Isabel Crespo Cabillo, 2013).

### **5.3.2. Dispositivo de control solar**

Son elementos que se agregan a las ventanas con el fin de resolver los problemas que se desprenden a causa del sol, el uso de dispositivos de control solar solucionan los problemas arquitectónicos que surge del exceso de radiación en los edificios, logrando regular la incidencia de los rayos solares, es un recurso del diseño bioclimático que impacta en forma directa las condiciones de confort en el interior de las edificaciones con respecto a la iluminación natural, y

también están muy vinculados a los consumos energéticos para el acondicionamiento térmico (Isabel Crespo Cabillo, 2013).

### ***5.3.3. Teoría de la iluminación***

Los niveles de iluminación tienen un gran impacto en ambientes de trabajo. Características como la productividad, motivación y bienestar de los trabajadores están directamente relacionados con la cantidad de iluminación del espacio en el que desempeñan sus tareas profesionales y del tipo de tarea que desempeñan. Un estudio en tejedores [...] notó que la producción descendía notablemente si la luz era menor. La luz se aproximaba a los 20 lux en las últimas tardes. Resultados similares salieron de otro estudio realizado sobre mecanógrafos (Weston & Taylor, 1926).

Los factores que inciden en la psique de los trabajadores pueden delimitarse en la intensidad de brillo, el color de la luz, calidad y su distribución en el espacio. Estas cuatro características pueden aumentar o disminuir el ritmo de trabajo en un establecimiento determinado dependiendo de los niveles a los que se exponen los trabajadores. Si bien el ser humano cuenta con la capacidad de adaptarse a su entorno, el uso de una iluminación inadecuada bien sea por el exceso de luz o, por el contrario, una iluminación deficiente, tiene como resultado molestias involuntarias o inclusive, la aparición temprana de síntomas relacionados con la fatiga visual y cognitiva.

**5.3.3.1. Luz natural.** La luz artificial jamás podrá reemplazar la luz natural. Si bien esta ofrece muchos beneficios se debe tener cuidado con la cantidad de luz que entrar a los recintos de trabajo. La energía solar que incide sobre los recintos genera cargas térmicas que pueden requerir dispositivos para regular la temperatura, de igual forma la incidencia directa de luz natural sobre superficies puede crear daños irreparables como desteñir telas, o dañar equipos

debido al aumento de la temperatura. También es posible sufrir de insolaciones o quemaduras al estar mucho tiempo bajo la luz del sol, aun estando dentro de casa, un elemento mal ubicado como un puesto de trabajo o un sofá puede convertirse en un espacio a evitar si se encuentra en constante contacto con los rayos directos del sol.

**5.3.3.2. Iluminación mediante luz natural.** No solo mejora la calidad visual en los recintos interiores, sino que además permite descansar la vista y disminuir la fatiga visual y mental al permitir al trabajador observar lo que pasa fuera de su recinto laboral y crear conexiones con personas y el mundo exterior.

#### **5.3.4. Iluminación y la salud de las personas.**

Los aspectos lumínicos pasan constantemente inadvertidos cuando requerimos adaptarnos a otros espacios de trabajo, no solo por las condiciones de la luz sino también por la tarea que se debe realizar. Efectos adversos se han encontrado en tareas de visión estática, como puede ser el trabajar muchas horas frente a una pantalla en donde el plano focal no cambia en ningún momento “[...] situaciones de visión cercana por largos periodos de tiempo [...] agota la capacidad de acomodación del ojo” (Mondelo, Gregori, & Barrau, Ergonomía 1 Fundamentos, 1994) p126. Del mismo modo las tareas en las que se debe cambiar constantemente de plano focal pueden generar otras afectaciones “El incremento de la frecuencia del cambio de enfoque obliga a los músculos ciliares a un ejercicio muy intenso y agotador” (Mondelo, Gregori, & Barrau, Ergonomía 1 Fundamentos, 1994).

**5.3.4.1. Efectos de la mala iluminación.** La mala adecuación de las condiciones lumínicas de acuerdo con las tareas a realizar en el espacio de trabajo puede generar efectos indeseados en la salud de las personas expuestas, estos riesgos pueden ser físicos, psicológicos y sociales.

### 5.3.5. Criterios de valoración lumínica

Debido a la atipicidad que se vive actualmente por las medidas de aislamiento social adoptados por el país a causa de la pandemia, es de vital importancia saber adecuar nuestros hogares de acuerdo con los niveles de iluminación adecuados para las actividades que se van a realizar en estos espacios. La guía técnica del ICONTEC GT-08 “Principios de ergonomía visual, iluminación para ambientes de trabajo en espacios cerrados” (ICONTEC, 1994) cuenta con los intervalos de iluminancia con respecto al requisito visual en las tareas a realizar, se consideran tres intervalos de iluminancia correspondientes a tres valoraciones de acuerdo con el grado de exigencia tal que:

Valoración máxima se aplica cuando la labor a realizar presenta condiciones donde la productividad y la exactitud de la tarea se considera de gran importancia, o cuando la capacidad visual de la persona así lo requiere.

Valoración mínima se usa para comparar los valores obtenidos en sitios donde la velocidad y exactitud de trabajo no son importantes, o las labores que se realizan allí son ocasionales.

Valoración media o recomendada se aplica para labores de trabajo normal y condiciones no muy exigentes o cuando la persona que se encuentra en el área de trabajo no reporta con las condiciones halladas.

#### Tabla 2

*Intervalos típicos de iluminación para diferentes áreas, tareas o actividades.*

Intervalos de iluminancia lx			Tipo de área, tarea o actividad
20	30	50	Circulación en exteriores y áreas de trabajo
50	100	150	Áreas de circulación, orientación

			simple y visitas cortas temporales
100	150	200	Recintos cuyo uso no sea continuo para propósitos de trabajo
200	300	500	Tareas con requisitos visuales simples
300	500	750	Tareas con requisitos visuales medianos
500	750	1000	Tareas con requisitos visuales exigentes
750	1000	1500	Tareas con requisitos visuales difíciles
1000	1500	2000	Tareas con requisitos visuales especiales
	Más de 2000		Realización de tareas visuales muy exactas.

*Nota.* Esta tabla muestra los intervalos de iluminación recomendados de acuerdo con el tipo de tarea a realizar. Tomado de (Mondelo, et al., 2013)

La iluminación del sitio de trabajo también debe responder a la exigencia de la tarea a realizar y a su vez a la edad de la persona que realiza la tarea. “para personas con defectos visuales o mayor edad, la misma tarea tiene una exigencia superior” (Mondelo, et al., 2013).

La siguiente tabla fue tomada del libro “Ergonomía 4. El trabajo en oficinas” (Mondelo, et al., 2013) y enlista las exigencias según el tipo de tarea para personas de 20 a 30 años.

### Tabla 3

*Tipos de tareas visuales (UNE 72-112-85)*

Exigencia	Ejemplo de tarea
Muy simples	Vigilancia de grandes espacios
Simple	Circulación por vestíbulos
Muy fácil	Almacenamiento sin clasificar
Fácil	Lavado automóviles
Normal	Reparaciones automóviles
Difícil	Visualización pantallas normales

Muy difícil	Visualización pantallas gráficas
Complicada	Igualación de colores
Muy complicada	Operaciones quirúrgicas

*Nota.* Esta tabla muestra una lista de tareas clasificados según su exigencia visual. Tomado de Ergonomía 4. El trabajo en oficinas” (Mondelo, et al., 2013)

Muchos de los trabajadores que han adaptado sus hogares para el teletrabajo o trabajo en casa se han visto obligados a recurrir a la virtualidad para desempeñar sus labores, esto ha causado que pasen la mayor parte del día observando una pantalla. El permanecer tanto tiempo en la misma postura realizando la misma actividad no solo trae consigo estrés postural, sino que también presenta una gran carga sobre la vista y la agudeza visual, estas tareas se pueden clasificar como “tareas con requisitos visuales exigentes” debido al tiempo prolongado en el que son realizadas.

**5.3.5.1. Niveles de luz interior recomendados.** Los niveles de luz en zonas interiores pueden llegar a niveles de tan solo 50 lux a comparación con los 10.000 lux que se pueden captar en exteriores en un día despejado. Las diferentes actividades necesitan diferentes niveles de iluminación que pueden ascender hasta los 20000 lux.

Las actividades de oficina de tipo general, mecanografía y computación pueden necesitar una iluminancia de 300 a 750 lx al igual que las salas de conferencia, mientras que las oficinas de dibujo y las oficinas abiertas requieren de 500 a 1000 lx. (ICONTEC, 1994). Estos valores dependen de la intensidad de la tarea y de la locación en la que se encuentren.

En la tabla número 4 se pueden apreciar la demanda de iluminación según la actividad desarrollada.

**Tabla 4***Niveles de iluminación recomendados para interiores por la CIE*

<b>Intervalo</b>	<b>Iluminancia (lux)</b>	<b>Clase de actividad</b>
<b>A</b>	20 30	Zonas públicas con alrededores oscuros
<b>Iluminación general en zonas poco frecuentadas o que se necesitan visuales sencillas</b>	50 75 100 150 200 300	Únicamente como simple orientación en visitas de corta duración. Lugares no destinados para trabajo continuo (zonas de almacenaje y entradas) Tareas con necesidades visuales limitadas (maquinaria pesada, salas de conferencias)
<b>B</b>	<b>500</b> <b>750</b>	<b>Tareas con necesidad visual normal (maquinaria media, oficinas)</b>
<b>Iluminación general para trabajo en interiores</b>	1000 1500 2000	Tareas con necesidad visual especial (grabado, inspección textil)
<b>C</b>	3000 5000	Tareas prolongadas que requieren precisión (microelectrónica y relojería)
<b>Iluminación adicional en tareas visuales exactas</b>	7500 10000 15000 20000	Tareas visuales excepcionalmente exactas (montaje microelectrónico) Tareas muy especiales (operaciones quirúrgicas)

*Nota.* Esta tabla muestra los niveles de iluminación recomendados según la clase de actividad.

Tomado de (ICONTEC, 1994).

**5.3.5.2. Relación entre el nivel de iluminación y el color.** Para diseñar dispositivos enfocados en reflejar la luz también se deben tener ciertas consideraciones como el color y el acabado de las superficies.

El coeficiente de reflexión o factor de reflexión de una superficie se define como “La relación entre el flujo luminoso incidente y el reflejado por la superficie. En la siguiente tabla se enlistan los factores de reflexión de los colores más corrientes.

**Tabla 5:**

*Factores de reflexión de los colores más corrientes. Tomada de (Mondelo, et al., 2013).*

<b>Color</b>	<b>Factor de reflexión</b>
Blanco	0,70 – 0,85
Azul claro	0,40 – 0,55
Azul oscuro	0,05 – 0,25
Verde claro	0,45 – 0,65
Verde oscuro	0,10 – 0,20
Crema, amarillo claro	0,65 – 0,70
Rosa	0,45 – 0,55
Rojo vivo	0,10 – 0,20
Gris claro	0,40 – 0,50
Gris oscuro	0,10 – 0,20

*Nota.* Esta tabla muestra el factor de reflexión de los colores. Tomado de Ergonomía 4. El trabajo en oficinas” (Mondelo, et al., 2013).

#### **5.4. Marco Normativo**

A partir del 2001 en donde se definió por primera vez el concepto de eficiencia energética y desarrollo sostenible en la Ley 697 de 2001, se estipulan nuevas normatividades respecto a el aprovechamiento de fuentes de energía renovable.

En el 2003 por medio del decreto 3683 publicado en el diario oficial 454009 de diciembre 22 de 2003, se reglamenta el uso racional y eficiente de la energía, crea la Comisión Intersectorial para el uso racional y eficiente de la energía y fuentes no convencionales de energía, CIURE, la cual fija estímulos para la investigación y la educación sobre el uso de

energía, además, crea la orden al mérito URE para distinguir a quienes se destaquen por su uso racional y eficiente.

En la circular 3 de 2007 en la alcaldía mayor de Bogotá, se definen los lineamientos consagrados en el decreto nacional 2331 de 2007, por el cual se le ordena que todas las edificaciones u oficinas donde se encuentre alguna entidad oficial sean del nivel nacional o territorial, adopten tecnologías de mayor eficiencia energética.

En 2010 mediante la circular 3 de dicho año se solicita a los Secretarios de Despacho, Directores de Departamentos Administrativos e Institutos, Gerentes o Directores de Establecimientos Públicos; Unidades Administrativas Especiales; Empresas Industriales y Comerciales del Estado; Sociedades de Economía Mixta; Sociedades entre Entidades Públicas, Alcaldes Locales y al Rector de la Universidad Distrital, para que al interior de cada entidad y organismo, se pongan en práctica estrategias que optimicen el uso diario de la energía.

En 2014 entra en vigor la ley 1715 a nivel nacional donde se promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible y la seguridad del abastecimiento energético. Además, esta ley busca promover la gestión eficiente de la energía y define los incentivos a la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía e inversiones en el desarrollo y promoción de las fuentes no convencionales de energía renovable.

En 2015 se publica en el Diario oficial No. 49523 del 26 de mayo de 2015 el decreto único reglamentario 1073 de 2015 a nivel nacional que dictamina que COLCIENCIAS, a través de los Programas Nacionales del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología que sean pertinentes,

desarrollará estrategias y acciones en conjunto con otras entidades, para crear líneas de investigación y desarrollo tecnológico en el uso racional y eficiente de la energía y/o fuentes no convencionales de energía. Por consiguiente, se crea la Orden al Mérito URE para distinguir y estimular a quienes se destaquen por el uso racional y eficiente de la energía. En ese sentido, se establecen los mecanismos de financiación, las obligaciones de las empresas de servicios públicos y entidades de la rama ejecutiva del orden nacional, y los derechos de los consumidores (Artículo 2.2.3.6.2.2.1.2 al 2.2.3.6.2.2.7.1.).

En 2016 se retoma el decreto nacional 1073 de 2015, único reglamento del sector de minas y energía, por medio del decreto 388 nacional de 2016 publicado en el diario oficial No. 49808 de 07 de marzo de 2016, donde señala que la CREG podrá ajustar las fórmulas de tarifa para promover el ahorro en consumo energético.

En 2019 por medio de la ley nacional 1955, publicada en el diario oficial No. 50964 del 25 de mayo de 2019 se determina que El Gobierno nacional, y el resto de las administraciones públicas, a partir del 1° de junio de 2019, deberán realizar auditorías energéticas de sus instalaciones y establecerán objetivos de ahorro de energía para la implementación de estrategias de ahorro y adecuaciones en su infraestructura. Estos objetivos planteados deberán disminuir el consumo energético en 15% respecto del consumo del año anterior.

## **6. Metodología**

La realización de este proyecto se hará en base a la metodología del Design Thinking, la cual consiste en el diseño estratégico de procesos para la resolución de problemas interviniendo así en las necesidades dando una solución viable, esta consta de cuatro etapas que son:

Empatizar, donde se identifican y analizan las necesidades que surgen por el nivel de iluminación en interiores de las edificaciones de estratos 3 y 4, con respecto a la relación entre la

productividad y los ambientes de trabajo adaptados a causas de la problemática actual debido al SARS-COV 2. Esto se realizará por medio de encuestas y toma de datos de primera mano, además se analizará la incidencia de los rayos solares con respecto a la disposición de la edificación, con ayuda de software especializado para el estudio de soleamiento de un lugar determinado en la ciudad de Bucaramanga, y de qué manera influye en el nivel de iluminación al interior del lugar con ayuda de instrumentos como el luxómetro.

Definir, que consiste en documentar la información en formatos de recolección para ser sistematizada y así poder redactar los parámetros y requerimientos de diseño a partir de los resultados obtenidos.

Idear, dando inicio al proceso creativo de diseño de alternativas con sus respectivos modelos formales que suplan las diferentes necesidades planteadas, donde se tiene en cuenta los costos de materiales y proceso de elaboración para luego ser evaluadas, basándose en la implementación de procesos de plegado, para desarrollar el patrón cuya libertad angular permite redireccionar de manera controlada la incidencia de los rayos solares.

Prototipar y evaluar, en donde los prototipos desarrollados se evalúan y a partir de los resultados de las verificaciones y validaciones se realizan correcciones, para la definición de planos, diseño a detalle, materiales y acabados para así poder llevar a cabo la elaboración el producto final.

### **6.1. Identificación de Necesidades**

El propósito de este paso es analizar al usuario e identificar sus necesidades y cómo abordarlas en el proceso de diseño. Para llevar a cabo este paso, se realizó una encuesta a

usuarios que viven en un edificio estrato 3 en el barrio comuneros con el fin de indagar y conocer más acerca del problema de iluminación en interiores.

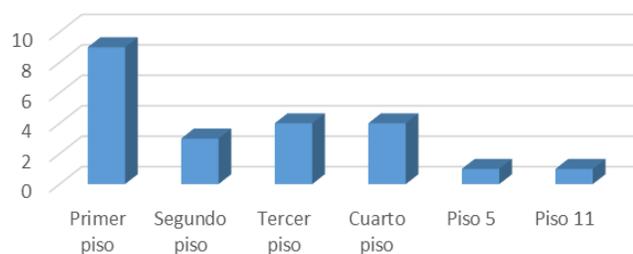
### 6.1.1. Encuesta

Se llevó a cabo con 50 personas que están realizando sus actividades académicas y laborales en el hogar, la cual obtuvo los siguientes resultados:

¿En qué piso se encuentra su residencia?

**Figura 2**

*Clasificación de los espacios de trabajo por piso*

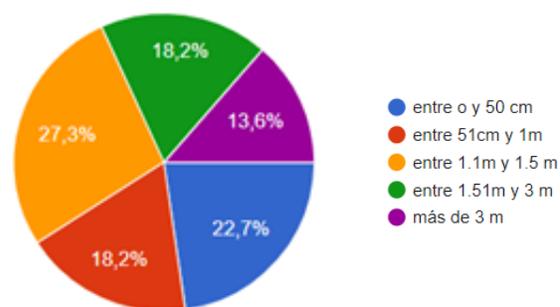


*Nota.* Número de usuarios clasificados según el piso en el que viven.

¿Qué tan cerca se encuentra su puesto de trabajo de la ventana más cercana?

**Figura 3**

*Distancias del puesto de trabajo con respecto a la ventana*

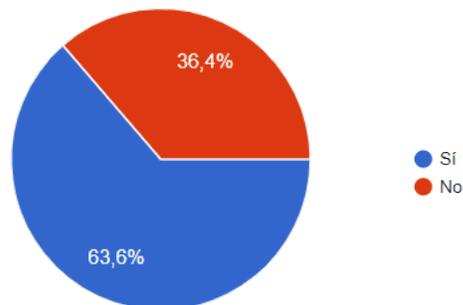


*Nota.* Porcentaje de participantes clasificados según la distancia de su puesto de trabajo a la fuente de luz natural más cercana.

¿La iluminación que proviene del exterior (Luz natural) es suficiente para la realización de sus actividades, tareas y trabajos

#### Figura 4

*Percepción de luz natural para la realización de actividades*

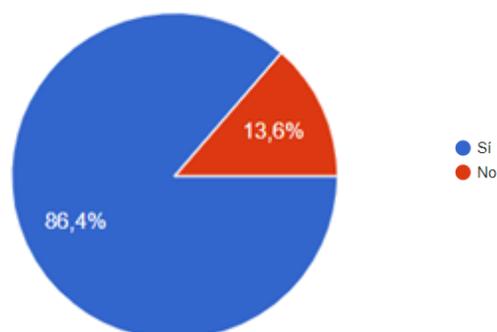


*Nota.* Porcentaje de encuestados que consideran que la luz natural que incide sobre su vivienda es suficiente para la realización de actividades.

¿Cuándo los niveles de iluminación son altos hace uso de persianas o cortinas para bloquear el paso de los rayos solares al interior de su hogar?

#### Figura 5

*Uso de elementos para bloquear el paso de los rayos solares*

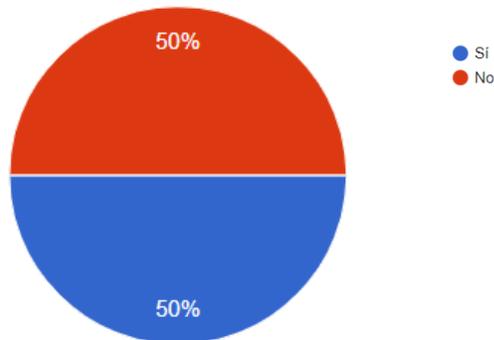


*Nota.* Porcentaje de participantes que hacen uso de elementos para bloquear los rayos solares.

¿La incidencia de altos niveles de iluminación de los rayos solares le ha causado daños a sus inmuebles u objetos?

**Figura 6**

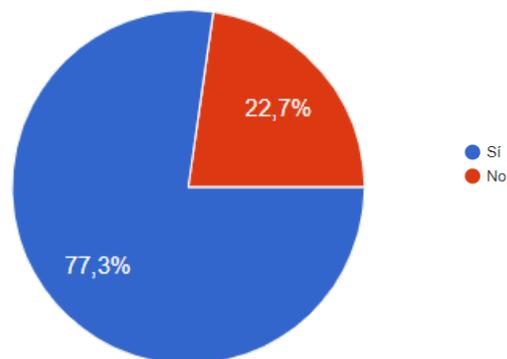
*Gráfica de daños a inmuebles u objetos*



¿Se ha visto en la necesidad de usar elementos como luminarias para aumentar el nivel de iluminación?

**Figura 7**

*Uso de luminarias para el aumento de iluminación*

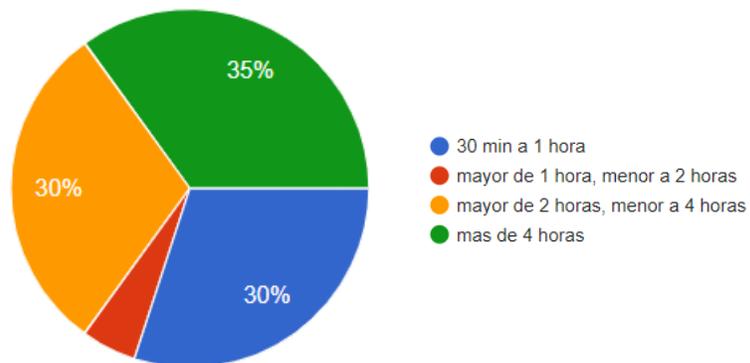


*Nota.* Porcentaje de participantes que hacen uso de luminarias para aumentar el nivel de iluminación en sus viviendas.

¿Por cuánto tiempo en promedio debe hacer uso de estos elementos para aumentar el nivel de iluminación?

**Figura 8**

*Tiempo de uso de iluminarias*

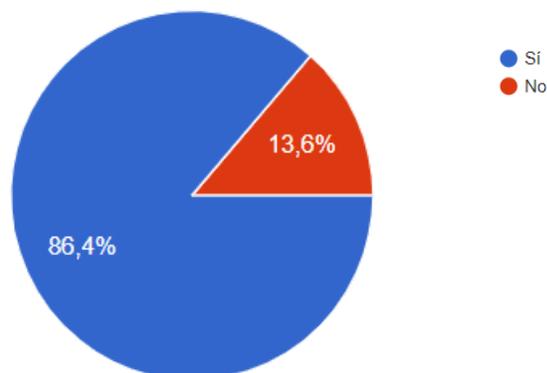


*Nota.* Porcentaje de participantes clasificados según el tiempo en el que hacen uso de luminarias para aumentar el nivel de iluminación.

¿Ha presentado síntomas de estrés durante el aislamiento social?

**Figura 9**

*Percepción de estrés*

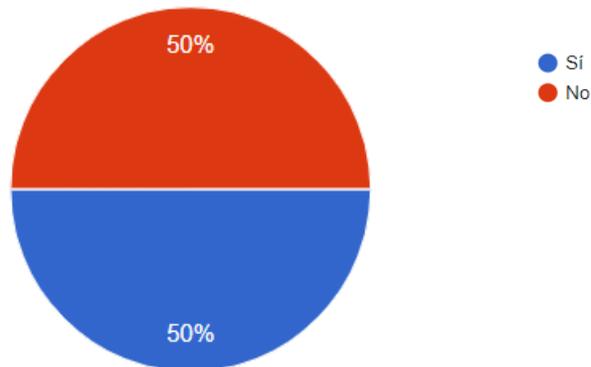


*Nota.* Porcentaje de participantes que han sentido estrés durante el tiempo de aislamiento.

¿Considera que la iluminación de su hogar puede estar relacionado el estrés percibido?

**Figura 10**

*Percepción de estrés relacionado con la iluminación*

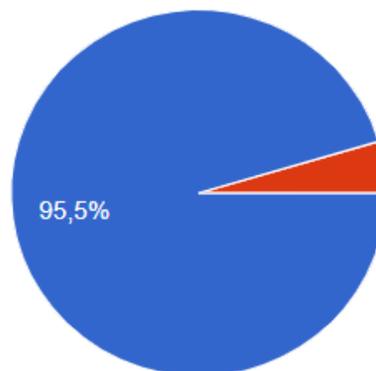


*Nota.* Porcentaje de personas que consideran que su nivel de estrés está relacionado con el nivel de iluminación.

¿Considera que la iluminación natural es mejor para la realización de tareas que la iluminación artificial?

**Figura 11**

*Preferencia de tipo de luz*

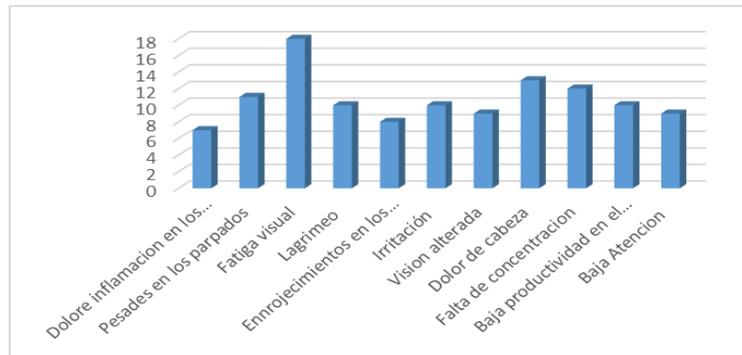


*Nota.* Porcentaje de participantes que prefieren la luz natural.

Marque con una x si ha presentado alguno de los siguientes efectos al finalizar la jornada laboral.

**Figura 12**

*Síntomas presentados al finalizar la jornada laboral*



*Nota.* Número de usuarios que han presentado síntomas negativos al finalizar la jornada laboral.

### **6.1.2. Análisis de los resultados**

Está claro que existe un problema con respecto a la iluminación natural en edificaciones, y esto se ve evidenciado por parte de los usuarios encuestados. Se puede notar que la ubicación en un piso determinado de la vivienda influye en la percepción de iluminación natural de los usuarios, ya que los encuestados que viven en los piso 1, 2 y 3 presentan problemas de mala iluminación natural y manifestaron su necesidad de recurrir a elementos como luminarias para aumentar ese nivel de iluminación y poder desarrollar mejor sus actividades, elementos que son usados en su mayoría por más de 4 horas al día, un tiempo considerable, provocando un aumentando de gasto energético.

Algunos usuarios plantean que la causa de la mala iluminación es provocada por los edificios demasiado altos que están a su alrededor, la disposición de sus ventanas y la cercanía de su puesto de trabajo con ellas, por otro lado, cuando se presentan altos niveles de iluminación,

además de causar incomodidad, causan daños a sus inmuebles u objetos por lo que deben recurrir al uso de elementos como persianas o cortinas con el fin de bloquear el paso de los rayos solares al interior de su hogar y poder evitar los deslumbramientos molestos que no dejan desarrollar de manera cómoda y eficiente la actividad.

Los usuarios reconocen que la iluminación natural les permite la realización de tareas que la iluminación artificial no, y que cuando es deficiente presentan ciertos problemas físicos como por ejemplo dolor en los párpados y cabeza, fatiga visual, irritación, visión alterada, y problemas psicológicos como el estrés, la baja productividad y atención en la realización de tareas.

De acuerdo con el panorama descrito, los problemas relacionados con la iluminación natural se han abarcado de forma individual sin englobar todos los factores que intervienen en ella, y en consecuencia no se han logrado soluciones que permitan dar un aprovechamiento adecuado de la fuente de luz natural dentro del horario laboral por lo que es pertinente preguntarse, ¿Cómo desde el diseño industrial se puede regular la luz natural en interiores, considerando todos los elementos que afectan e influyen en la incidencia de radiación solar en las edificaciones?.

## **6.2. Mapa de empatía**

Al interactuar con cada uno de los usuarios se identificó que emociones sentían con respecto al problema de iluminación, y así lograr reconocer y entender sus necesidades:

### **¿Qué piensa y siente?**

En ocasiones sienten falta de concentración en el desarrollo de sus actividades cotidianas dentro del hogar, sienten fastidio cuando el problema no se puede controlar de manera óptima, sienten impotencia al tener que acudir a elementos externos para controlar ya sea el exceso de luz o por el contrario la ausencia de ella al interior del hogar, sienten el cambio de temperatura

debido a la intensidad de los rayos solares, y por ultimo sienten dolor de cabeza cuando hay exceso de luz solar al interior.

### **¿Qué ven?**

Diferentes tipos de elementos que controlen la entrada de rayos solares ven el desgaste de algunos inmuebles producido por los rayos solares.

### **¿Qué dice y hace?**

Son conscientes de la incomodidad del sol, por lo tanto, acuden al uso de persianas o cortinas, para bloquear el paso de los rayos solares, en el caso contrario cuando hay exceso de luz natural acuden al uso de iluminarias para mejorar la iluminación al interior del hogar, buscan la forma de adecuar el espacio en el hogar de manera que se liberen de los molestos rayos solares al interior

### **¿Qué oyen?**

Oyen propuestas de cercanos o profesionales para calmar su inconformidad, oyen a sus vecinos hablar acerca del mismo problema.

## **6.3. Análisis del problema**

### **6.3.1. Estudio de soleamiento**

El estudio de la iluminación natural y el asoleamiento, permiten establecer parámetros para el diseño adecuado del dispositivo de captación solar (forma, tamaño, ubicación, etc.), analizando primordialmente el comportamiento de la incidencia de los rayos solares en Bucaramanga. El estudio permite analizar si la iluminación es adecuada para la realización de las actividades dentro del espacio, y determinar requerimientos para el diseño del patrón de plegado.

Para empezar, es necesario saber que Bucaramanga está ubicada geográficamente en 7° 08' de latitud norte y 73° 08' de longitud oeste. Su clima está clasificado por la altitud y se divide

en zonas con clima cálido seco y templado seco. Tiene una temperatura promedio de 24 °C y una máxima promedio de 30,9 °C, aunque entre 6 a.m. y 6 p.m. la temperatura promedio es cercana a 26°C (Lazar & Eder, 2001).

Por medio de simuladores solares como SunEarertools, se pueden recopilar datos acerca de la geometría solar de Bucaramanga, dichos datos ayudaran a la visualización del problema a tratar y a su vez montaran las bases del desarrollo del dispositivo. Se recopilaron los datos necesarios para describir con exactitud la posición del sol en el día 9 de enero de 2022 en la siguiente tabla donde se encuentran los ángulos de elevación en el eje Y su azimut que corresponde al ángulo tomado desde el norte hasta la posición del cuerpo celeste.

**Tabla 6**

*Azimut y elevación en la ciudad de Bucaramanga*

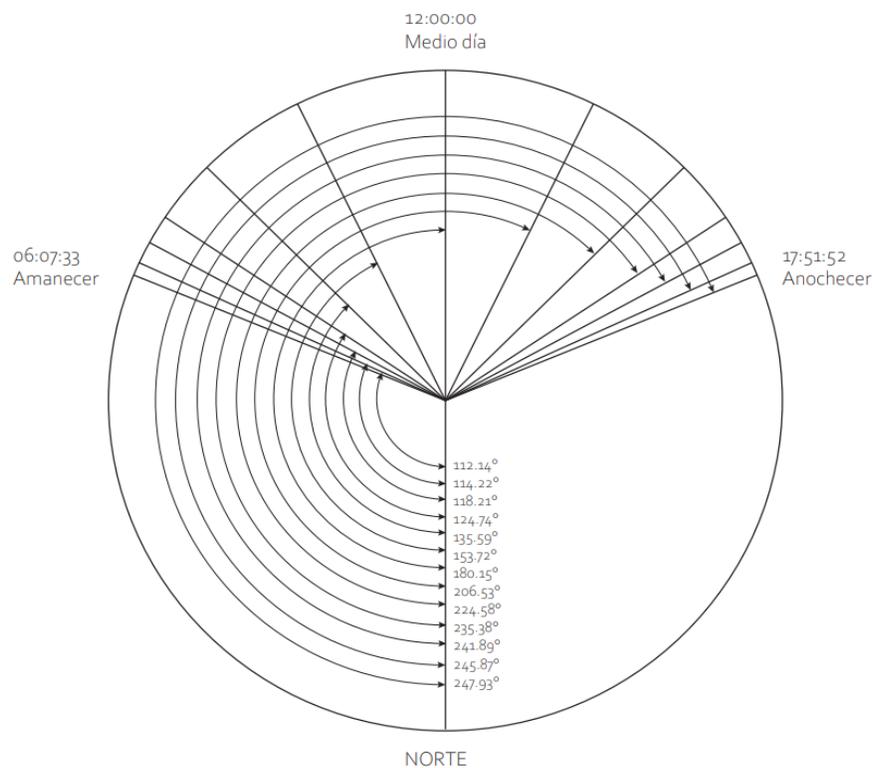
Fecha: 09/01/2022		
Coordinar: 7.1119802, - 73,1166896		
Ubicación: 7,11146110, - 73,11728690		
<b>Hora</b>	<b>Elevación</b>	<b>Azimut</b>
6:00:00 a. m.	0.83°	112.14°
7:00:00 a. m.	11.13°	114.22°
8:00:00 a. m.	24.5°	118.21°
9:00:00 a. m.	37.22°	124.74°
10:00:00 a. m.	48.6°	135.59°
11:00:00 a. m.	57.39°	153.72°
12:00:00 a. m.	60.86°	180.15°
13:00:00 a. m.	57.33°	206.53°
14:00:00 a. m.	48.57°	224.58°
15:00:00 a. m.	37.11°	235.38°
16:00:00 a. m.	24.38°	241.89°
17:00:00 a. m.	11°	245.87°
17:52:00 a. m.	0.83°	247.93°

*Nota.* Esta tabla muestra el ángulo de azimut y elevación respecto a la hora del día 9 de enero de 2022

Debido a diferencia de tamaño de la tierra y su fuente de luz, se puede asumir que los datos de elevación y azimut se cumplen en cualquier sitio de la ciudad de Bucaramanga, basta con tomar la ubicación respecto al norte del edificio a estudiar y ubicarlo en el centro del gráfico para conocer cómo va a ser afectado por los rayos solares.

### Figura 13

*Azimut para la ciudad de Bucaramanga*

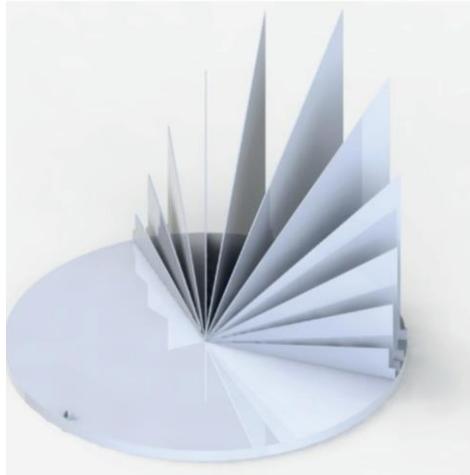


*Nota.* Angulo respecto al norte del azimut para la ciudad de Bucaramanga.

La visualización de la elevación del sol respecto a un punto en la ciudad de Bucaramanga se realizó a través un programa de modelado 3D, teniendo a consideración la tabla anterior. El modelo visto en la figura 14 permite tener una mejor visualización del comportamiento de la luz proveniente del sol, así como también pautas a considerar para el dispositivo a construir.

**Figura 14**

*Modelo 3d del azimut y la elevación en la ciudad de Bucaramanga*



*Nota.* El desplazamiento que se ve en el modelo 3d corresponde al paso de sol por la bóveda celeste desde la perspectiva de una persona ubicada en la ciudad de Bucaramanga.

A partir del gráfico se puede ver que las edificaciones que tienen ventanas con dirección al sur oriente van a tener un mejor aprovechamiento de la luz solar, así mismo, los edificios que se encuentran al norte evitan los rayos solares creando espacios idóneos de descanso. Al comparar esta información con los mapas de Bucaramanga se observa que la gran mayoría de las edificaciones no siguen dicho concepto de diseño basado en la geometría solar, las casas y edificios se encuentran dispuestas por calles y carreras donde sus ventanas se encuentran orientadas a todas las direcciones posibles, por lo que es indispensable tomar como requerimiento del proyecto la adaptabilidad del dispositivo a ventanas con favorabilidad de luz solar.

El estudio se realizó en un edificio que se encuentra ubicado en la carrera 23 # 7 24, con una orientación sur este, el cual presenta un exceso de iluminación natural durante las horas de la mañana por lo que es ideal para poner a prueba el dispositivo a diseñar

**Figura 15**

*Edificio la Hispana*



*Nota.* Modelo 3d del edificio la hispana, ubicado en la carrera 23 # 7 24, con una orientación sur este.

**Figura 16**

*Entrada de la luz natural en el edificio La hispana*



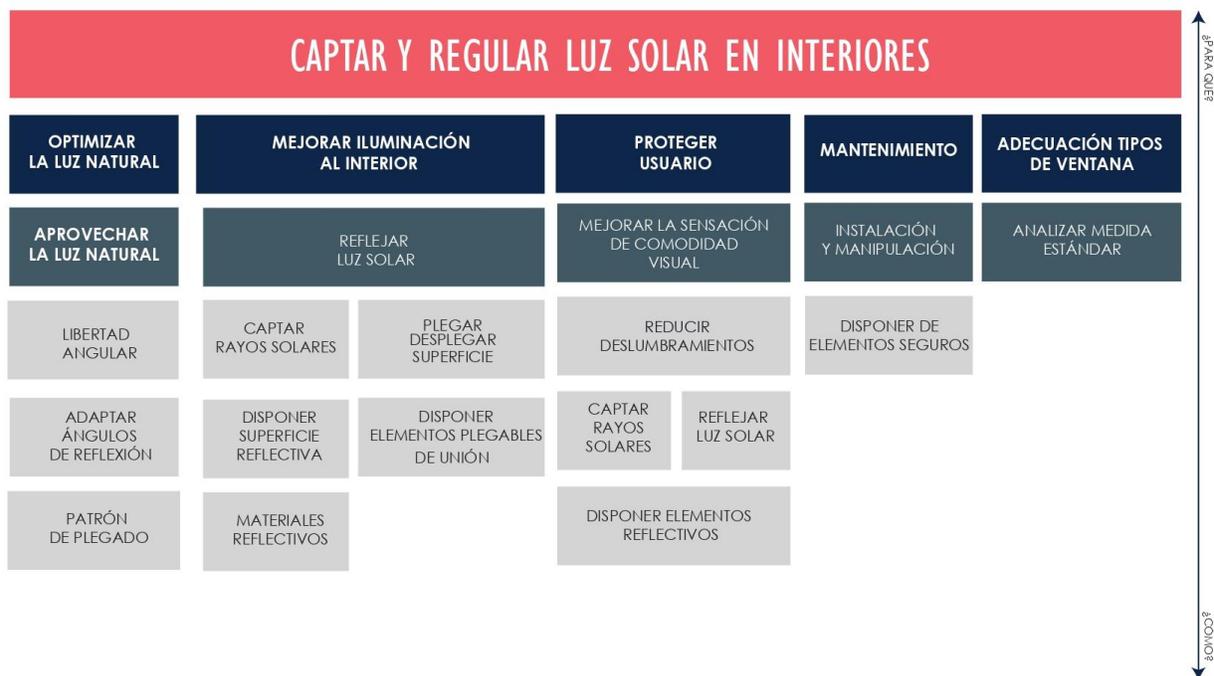
*Nota.* Modelo del exceso de luz que entra en las habitaciones cuyas ventanas se encuentran en dirección sur este.

**6.4. Diagrama Fast:**

Se busca organizar y relacionar entre si las funciones que debe poseer el dispositivo pensando primordialmente en suplir las necesidades, cumplir con los deseos del usuario y abordarlas desde el diseño del dispositivo.

**Figura 17**

*Diagrama Fast*



*Nota.* El diagrama Fast relaciona la función principal con las funciones secundarias

**7. Formulación de Requerimientos**

Es importante determinar cuáles son los criterios que se van a tener en cuenta para la ideación del dispositivo. Se analizó la problemática junto con los deseos y necesidades del cliente para encontrar soluciones puntuales de diseño en cuanto a criterios de función, uso y estética.

Tomando la información de la etapa anterior se establecieron los ¿Qué?, que corresponde a las funciones que debe realizar el dispositivo, y los ¿Cómo?, los cuales corresponden al cómo se puede realizar esa función en base al diseño, seguido de unos criterios y parámetros, con su respectiva unidad de medida, y los valores aceptados:

**Tabla 7***Tabla de requerimientos*

TIPO	¿QUÉ?	¿CÓMO?	CRITERIO	CANTIDAD	VALOR ACEPTADO
FUN	Que capte la luz solar en la totalidad de su área	libertad angular entre módulos debido a diseño de patrón de origami con uniones que se adapten al pliegue en todo momento de uso	Angulo de plegado	Grados	0° - 90 °
FUN	Que refleje de manera óptima de los rayos solares	material de superficies reflectivo	Diferencia de intensidad de luz reflejada	lúmenes	>1
		Mayor distribución de la luz en el espacio debido a mayor cantidad de ángulos reflejados	Intensidad de luz reflejada en diferentes puntos del espacio	lúmenes	>400
FUN	Que sea resistente a la intemperie	material de consistencia rígida y patrón de origami rígido	Propiedades del material - Dureza	Rockwell	m 90 - 100
		Material resistente a la corrosión	Propiedad del material - resistencia a impactos	ft lb / pulg	0.4 - 0.5
FUN	Que optimice el espacio al estar en desuso	Reducción del espacio ocupado debido a su diseño colapsable	Diferencia en el área superficial	Porcentaje	>50%
USO	Que sea fácil de accionar	tamaño del dispositivo cómodo para todos los percentiles	Tamaño	m 2	< 2
		peso del dispositivo liviano	peso total	kg	< 4
USO	Que sea de fácil mantenimiento	superficies impermeables	Facilidad de limpieza	Likert	> 75%
USO	Que sea seguro para manipular	Bordes perfilados	ángulo de biselado	grados	45°
EST	Que tenga un diseño estéticamente atractivo	Composición modular	Repetición de módulos	cantidad	> 2
		Lamina delgada	Espesor de la lamina	mm	< 0,5 mm

Nota. Esta tabla relaciona los requerimientos con su valor aceptado.

7.1. Quality Function Development

Se relaciona entre si cada requerimiento y criterio correspondiente, para así determinar el nivel de prioridad e importancia de cada uno, teniendo en cuenta para la selección de las alternativas.

Figura 18

Matriz Qfd

¿QUE?	¿CÓMO?												Importancia para el usuario (1 a 5)	argumento de venta (1, 12, 15)	ponderación absoluta = (1Y)(8Y)(9)	pond relativa (%)	orden de importancia
	BORDES PERFILADOS	LIBERTAD ANGULAR	MATERIAL DE SUPERFICIE REFLECTIVO	MAYOR DISTRIBUCION DE LA LUZ EN EL AREA PARA MAYOR CANTIDAD DE ANGULOS REFLEJADOS	COMPOSICION MODULAR	LAMINA DELGADA	MATERIAL DE CONSISTENCIA RIGIDA Y PLEGADO ORIGAMI RIGIDO	MATERIAL RESISTENTE A LA CORROSION	REDUCCION DEL ESPACIO OCUPADO EN EL DISEÑO COLAPSABLE	TAMAÑO DEL DISPOSITIVO CÓMODO PARA TODOS LOS PERCENTILES	PESO DEL DISPOSITIVO LIVIANO	SUPERFICIES IMPERMEABLE					
QUE SEA SEGURO PARA MANIPULAR	9	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	4,5	1,5	6,75	15,24	3
QUE CAPTE LA LUZ SOLAR EN LA TOTALIDAD DE SU AREA	0	9	9	9	3	0	0	0	3	0	0	0	4	1,5	6	13,54	2
QUE REFLEJE DE MANERA OPTIMA DE LOS RAYOS SOLARES	0	9	9	7	8	0	0	0	3	0	0	0	5	1,5	7,5	16,93	1
QUE TENGA UN DISEÑO ESTETICAMENTE ATRACTIVO	5	0	0	0	5	7	0	0	3	0	0	0	3,5	1,5	5,25	11,85	5
QUE SEA RESISTENTE A LA INTERPERIE	0	0	0	0	0	6	9	9	8	0	8	8	5	1,2	6	13,54	4
QUE OPTIMIZE EL ESPACIO AL ESTAR EN DESUSO	0	5	0	0	9	8	0	0	9	7	0	0	4	1	4	9,03	8
QUE SEA FACIL DE ACCIONAR	0	3	2	0	8	8	8	0	6	9	9	0	4	1,2	4,8	10,84	6
QUE SEA DE FACIL MANTENIMIENTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	7	9	4	1	4	9,03	7
Ponderación abs	196,38	351,9187	295,93	240,4	403,2731	323,1377	121,8962	36	381,6027	321,5576	375,733	189,61	3237,439			44,3	100
Ponderación rel	6,07	10,87	9,14	7,43	12,46	9,96	3,77	1,11	11,79	9,93	11,61	5,96	100				
Orden de importancia	9	4	7	8	1	5	11	12	2	6	3	10					

Nota. La matriz QFD relaciona los requerimientos para hallar su grado de importancia.

De acuerdo con lo anterior cada requerimiento y su correspondiente criterio tiene un porcentaje de valor el cual establece el orden de prioridad.

Tabla 8

Nivel de prioridad de requerimientos

K	equerimie	Tipo	¿Qué?	¿Cómo?	Criterio	Porcentaje
	Fun	Que capte la luz solar en la totalidad de su área	Libertad angular entre módulos debido a diseño de patrón de origami con uniones que se adapten al pliegue en todo momento de uso	Ángulo de plegado	10,87	44,11

Fun	Que refleje de manera óptima de los rayos solares	Material de superficie reflectivo	Diferencia de intensidad de luz reflejada	9,14	
		Mayor distribución de la luz en el espacio debido a mayor cantidad de ángulos reflejados	Intensidad de luz reflejada en diferentes puntos del espacio	7,43	
Fun	Que sea resistente a la intemperie	Material de consistencia rígida y patrón de origami rígido	Propiedades del material - dureza	3,77	
		Material resistente	Propiedad del material - resistencia a impactos	1,11	
Fun	Que optimice el espacio al estar en desuso	Reducción del espacio ocupado debido a su diseño colapsable	Diferencia en el área superficial	11,79	
Uso	Que sea fácil de accionar	Tamaño del dispositivo cómodo para todos los percentiles	Tamaño	9,93	
		Peso del dispositivo liviano	Peso total	11,61	
Uso	Que sea de fácil mantenimiento	Superficies impermeables	Facilidad de limpieza	5,86	33,47
Uso	Que sea seguro para manipular	Bordes perfilados	Ángulo biselado	6,07	
Est	Que tenga un diseño estéticamente atractivo	Composición modular	Repetición de módulos	12,46	22,44
		Lamina delgada	Espesor de la lamina	9,98	

**100**

*Nota.* Esta tabla muestra el nivel de prioridad asignado a cada requerimiento mediante la matriz QFD.

## 8. Proceso creativo

### 8.1. Alternativas

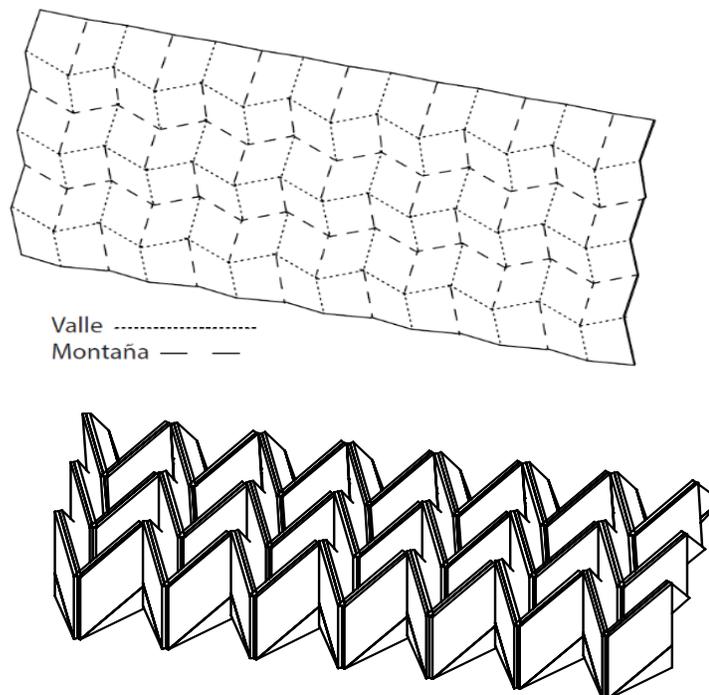
Para diseñar un patrón de plegado que se ajuste a los requerimientos del proyecto se tuvieron varios factores en cuenta, para empezar el patrón debía ser capaz de mantener su estructura aun estando en la intemperie por lo que se optó por estudiar las características de los patrones de origami rígidos, además, este patrón debía tener cierta libertad angular para poder aprovechar los rayos del sol independientemente de la posición en la que se encuentre, esto significa que al plegarse, el patrón debe cambiar la posición angular de sus planos en diferentes

ejes, también es necesario implementar un patrón modular que se repita a lo largo del artefacto, con el fin de adaptar sus dimensiones a diferentes ventanas, teniendo esto en cuenta se consideraron los patrones de plegado rígido existentes y se tomó como base de estudio el patrón MIURA, que ha sido constantemente usado en la ingeniería para el desarrollo de productos y artefactos.

El patrón de pliegues forma una teselado de paralelogramos que conserva la simetría al repetir constantemente sus módulos, además, cuenta con la característica de que toda su estructura se colapsa y se despliega en dos dimensiones, con tan solo aplicar presión o tensión en dos puntos cualquiera de su estructura.

### Figura 19

*Patrón Miura ori*



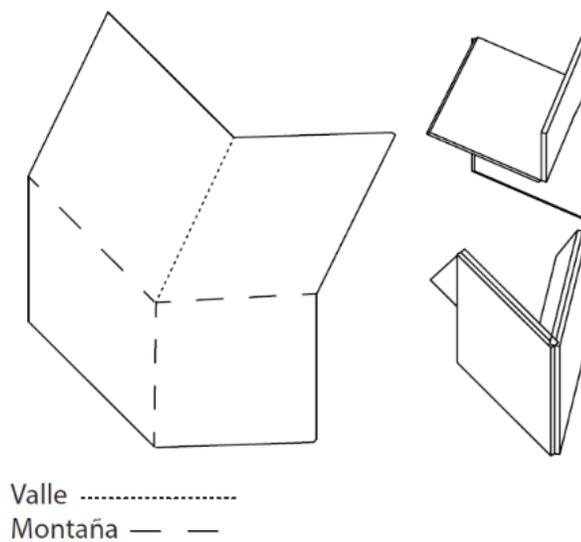
*Nota.* Diagrama de patrón de plegado que muestra la dirección en la que se debe doblar.

Fue inventado por el astrofísico japonés Koryo Miura, este patrón es un ejemplo de la importancia práctica del origami y el origami rígido, pues plegar cualquier material de siguiendo las pautas de este patrón, aumenta considerablemente las características mecánicas de la estructura formada, mejorando su resistencia y permite que se colapse reduciendo su tamaño considerablemente una vez doblada.

El patrón cuenta con movimiento angular amplio que le permite adaptarse a una gran variedad de posiciones permitiendo que sus módulos roten de tal forma que puede mantenerlos completamente horizontales al desplegarse y colapsarse hasta posicionar sus módulos de manera vertical.

### Figura 20

#### *Módulo patrón Miura*



*Nota.* Diagrama de plegado de módulo de patrón que muestra la dirección en la que se debe doblar.

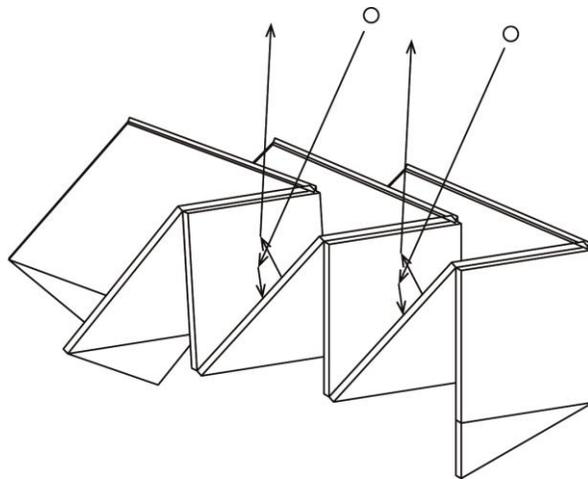
Si se piensa en la aplicación de una estructura basada en el patrón de miura y la reflexión de los rayos del sol sobre esta, se puede notar que debido a que cada uno de los módulos del

patrón poseen las mismas dimensiones, el rayo de luz simplemente rebotaría entre las caras del patrón por lo que no se logra un control en la dirección de reflexión del rayo de luz.

Otro resultado del estudio de este tipo de patrón es que, aunque este funciona perfectamente en materiales con espesor despreciable como el papel, no es posible implementar este tipo de pliegues en materiales rígidos, pues el grosor del material no permite doblarlo completamente.

### **Figura 21**

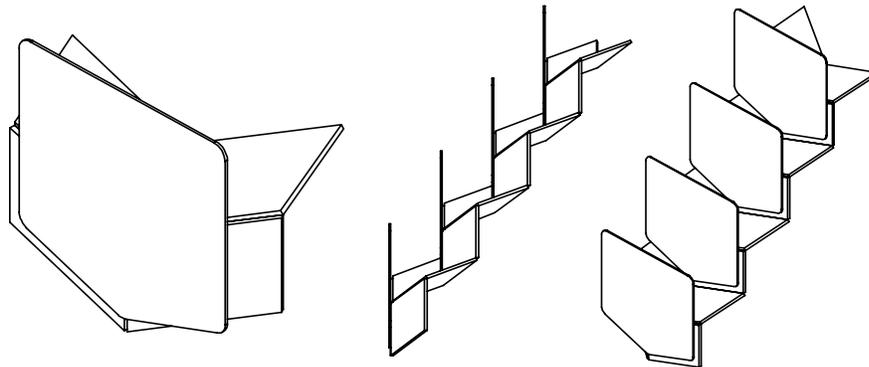
*Reflexión de rayos de luz*



*Nota.* El grafico muestra el comportamiento de un rayo de luz al reflejarse sobre los módulos del patrón de plegado.

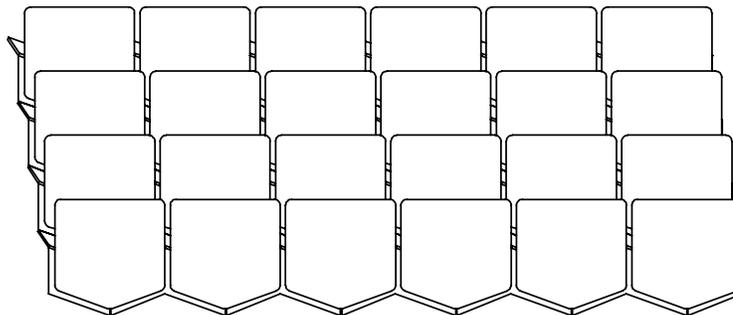
#### **8.1.1. Alternativa 1**

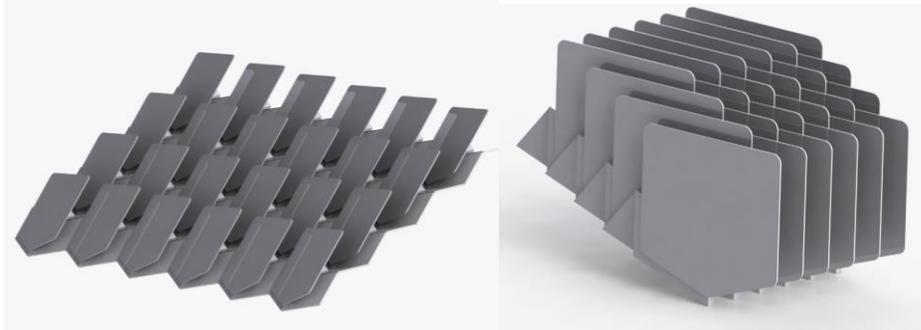
Una forma de abordar el problema del atrapamiento de luz es aumentar la superficie reflectiva de uno de los lados del módulo.

**Figura 21***Alternativa 1*

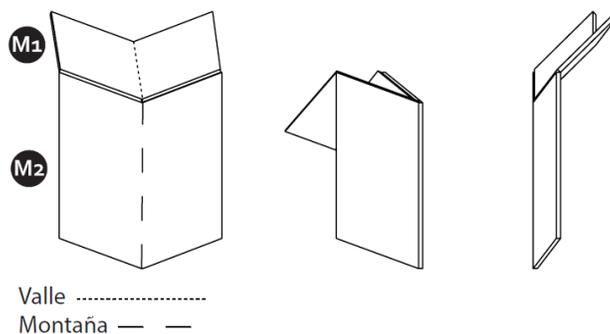
*Nota.* Posición de las laminas reflectivas sobre el patrón de plegado.

Para esto se agregó una lámina de material tipo espejo a la estructura, con el fin de aumentar el área reflectiva, y así poder tener un mayor aprovechamiento de la luz natural. En esta alternativa el patrón de plegado pasa a ser un medio mecánico que trasmite su movimiento a la pieza reflectiva ya que los espejos cuentan con la misma libertad angular que el patrón donde se posan y se mueven al mismo tiempo que el patrón cuando este se pliega o se despliega.

**Figura 22***Frontal Alternativa 1*

**Figura 23***Render Alternativa 1***8.1.2. Alternativa 2**

Otra forma de abordar el problema es alternando el área de los módulos del patrón, logrando un diseño de patrón escalonado que mantiene las condiciones de patrón rígido, al igual que su movimiento y libertad angular. Se modificó uno de los submódulos aumentando su área tal que el nuevo módulo (módulo 2) correspondiera al doble del área del módulo 1.

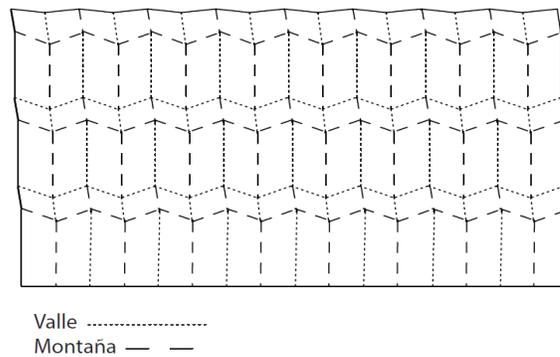
**Figura 24***Alternativa 2*

*Nota.* Diagrama de plegado de módulo de patrón que muestra la dirección en la que se debe doblar.

Una vez se tiene el módulo del patrón se desarrolla un teselado repitiendo los módulos tanto vertical como horizontalmente hasta conseguir el área deseada que depende de las dimensiones de la ventana donde se instalará el dispositivo.

**Figura 25**

*Patrón alternativa 2*

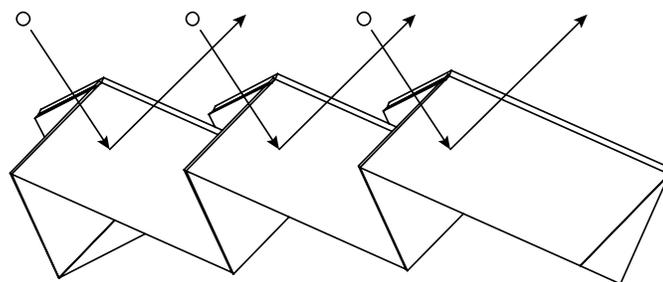


*Nota.* Diagrama de patrón de plegado que muestra la dirección en la que se debe doblar

De esta forma se asegura que los rayos de sol no se queden atrapados dentro del patrón de plegado, lo que permite tener control sobre los ángulos de reflexión, logrando así dirigir la luz del sol a un punto deseado

**Figura 26**

*Rebote de ángulo entre caras alternativa 2*



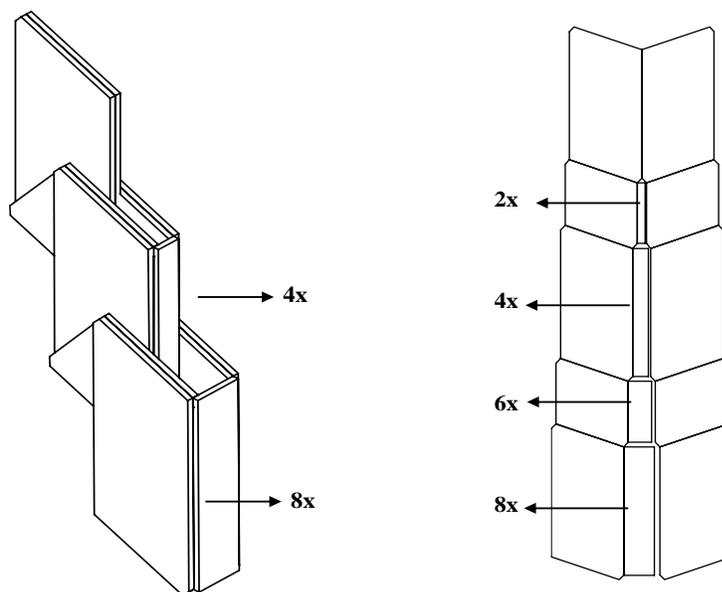
*Nota.* El grafico muestra el comportamiento de un rayo de luz al reflejarse sobre los módulos del patrón de plegado.

Una vez generado un patrón en papel se debe adaptar dicho patrón para ser implementado en un material con espesor no despreciable, para se implementan diferentes métodos de plegado para paneles rígidos pues el comportamiento de los pliegues depende mucho de la elasticidad del material, su grosor y sus uniones.

Un material rígido y poco elástico afectaría la capacidad de plegado del patrón por lo que se compensar físicamente el esfuerzo que debe hacer el material para contener más de un pliegue de módulos dentro de sí, por ejemplo, al separar las piezas que forman un conjunto plegable del teselado se puede observar que cada conjunto está formado por 4 piezas y cada conjunto que se agrega después de este, debe poner contener al anterior por lo que para que el teselado funcione se debe agregar una pieza cuyo largo debe corresponder al largo las piezas de sus laterales y su ancho debe ser igual a el número de piezas que contiene multiplicado por el grosor de las mismas.

**Figura 27**

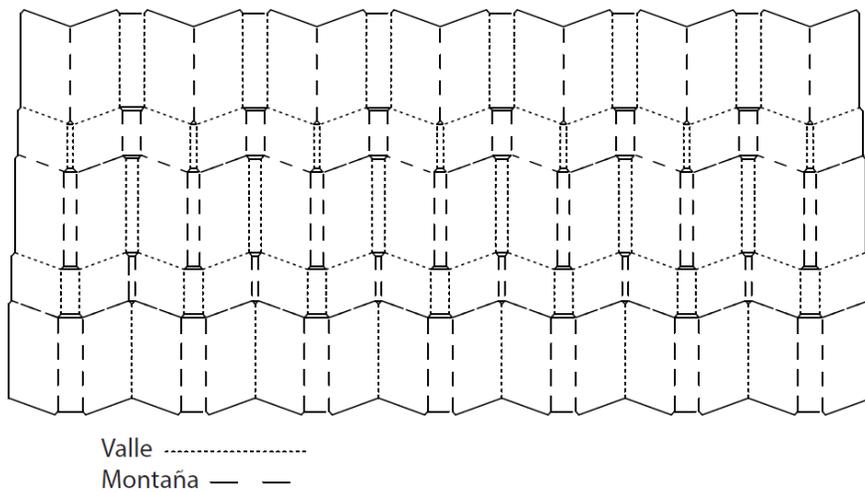
*Evolución alternativa 2*



Las piezas rectangulares agregadas aumentan su tamaño a medida que el teselado crece de manera vertical, de tal forma que el área superficial de una fila columna de conjuntos, su peso y su volumen aumenta de manera significativa, cada vez que se agrega un módulo tal como se puede ver en la figura 27

### Figura 28

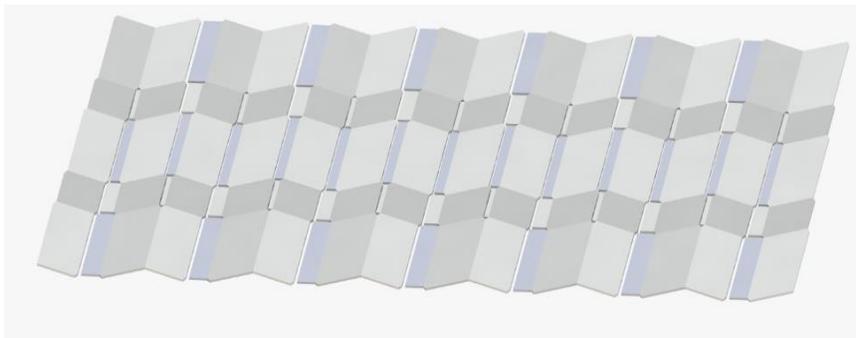
#### *Patrón alternativa 2*



*Nota.* Diagrama de patrón de plegado que muestra la dirección en la que se debe doblar.

### Figura 29

#### *Render alternativa 2 desplegada*



**Figura 30**

*Render alternativa 2 colapsada*

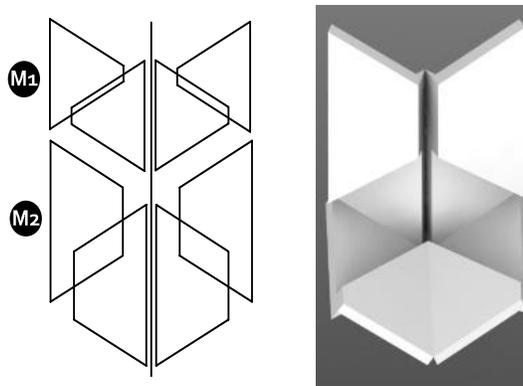


### 8.1.3. Alternativa 3

Esta alternativa consiste en la superposición de piezas para conseguir un módulo con dos niveles de grosor, de tal forma que al colapsarse la geometría de la estructura pueda contener al siguiente modulo sin tener que aumentar sus dimensiones, ni incluir una pieza adicional que lo contenga como en la alternativa anterior.

**Figura 31**

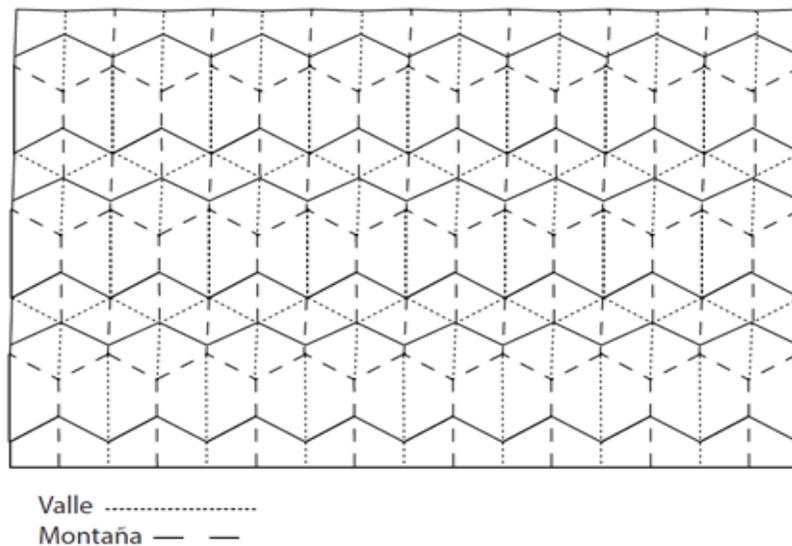
Alternativa 3



*Nota.* Diagrama de posición de piezas para formar los módulos plegables.

Cada módulo está formado por dos pares de piezas m1 y m2, que forman una sola pieza o modulo al unirse en posición invertida, Las piezas m1 y m2 cuentan con dimensiones diferentes de tal forma que el área de la pieza formada por la unión de las piezas m2 es el doble que el área de la pieza formada por la unión de las piezas m1, una vez se tienen las piezas o módulos estas se reflejan en el eje vertical y se unen con un material que les permita plegarse para así formar el conjunto que se repetirá a lo largo de la estructura.

**Figura 32** Patrón alternativa 3

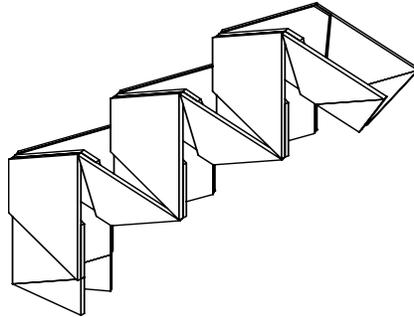


*Nota.* Diagrama de patrón de plegado que muestra la dirección en la que se debe doblar.

La ventaja de este diseño de 4 vértices es que al colapsar completamente el módulo hay una reducción considerable de su área pues esta pasa a ser igual a 4 veces el espesor de material (4x)

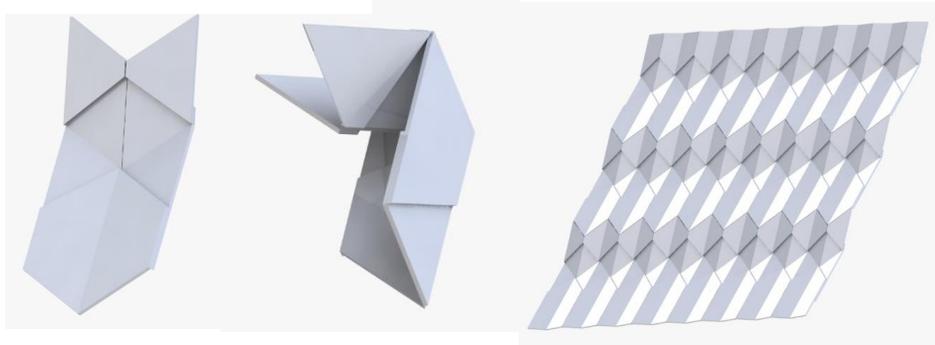
**Figura 33**

*Alternativa 3 colapsada*



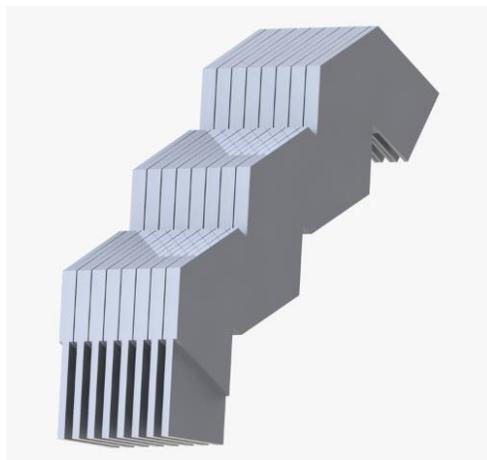
**Figura 34**

*Render alternativa 3*



**Figura 35**

*Render alternativa 3 colapsado*



Finalizando la etapa de generación de alternativas se pudo concluir que debido a que no existe un orden fijo a la hora de posicionar edificios o construir ventanas en Bucaramanga y su área metropolitana, el patrón debía ser simétrico y modular permitiendo adaptarse a diferentes escenarios de acuerdo con la geometría solar y las particularidades de la arquitectura de cada vivienda.

### 9. Prototipado

En el proceso de prototipado se inició por estudiar la estructura base a partir de prototipos rápidos verificando la viabilidad del plegado, el patrón de miura ori se fabricó como primera medida en papel reflectivo para analizar el comportamiento de este al ser expuesto a la luz.

#### Figura 36

*Prototipo patrón de miura*



*Nota.* Prototipo de bajo nivel fabricado a partir de material reflectivo.

Este primer prototipo permitió estudiar las capacidades reflectoras del mismo, destacando sus propiedades mecánicas y dando la primera guía hacia el diseño del patrón de plegado a utilizar.

El principal problema con dicho patrón de plegado es que la luz queda atrapada dentro de este y no se consigue un control sobre la dirección de reflexión de la luz como ya se mencionó

antes, por esta razón se desarrollan dos maneras de aumentar la superficie reflectiva siendo una agregando material sobre el patrón de plegado y usando este último como un mecanismo aprovechando el movimiento que tiene al plegarse y la segunda forma se desarrolla modificando las dimensiones del patrón de plegado, y aumentando el área reflectiva sin agregar elementos externos.

Al agregar material sobre el patrón de miura se pudo observar que, si bien se mantiene un control uniforme sobre la reflexión de la luz, se limita la capacidad de plegar el dispositivo pues las superficies reflectoras agregadas aumentan el grosor del conjunto y hace que sea mecánicamente imposible desarrollarlo en un material rígido, aun si se fabrica en un material flexible, el espesor agregado restringe el funcionamiento del dispositivo.

### **Figura 37**

*Prototipo patrón 1*

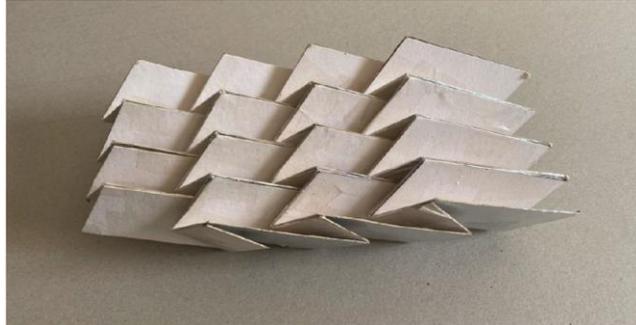


*Nota.* Prototipo de bajo nivel fabricado en material semi rígido forrado de material reflectivo.

En el método dos se fabricaron dos prototipos uno en papel que permitió estudiar el movimiento y configuración del patrón de plegado y otro en cartón reforzado que permitió estudiar la mecánica y las limitaciones que se presentan al aplicar el patrón diseñado en un material más rígido con cualidades reflectivas.

**Figura 38**

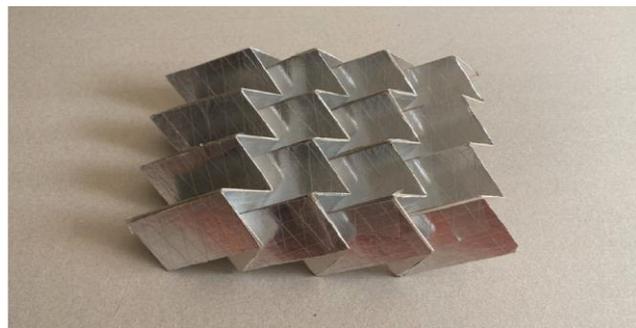
*Prototipo alternativo 2 en papel*



El segundo prototipo fue elaborado en cartón corrugado, forrado en papel reflexivo y una segunda capa de adhesivo transparente para protegerlo del agua a la vez que hacer las uniones entre los módulos, con este prototipo se pudo comprobar la luz no queda atrapada en un patrón escalonado.

**Figura 39**

*Prototipo alternativo 2 con papel reflectivo*



*Nota.* Prototipo de bajo nivel fabricado en material semi rígido forrado de material reflectivo.

Una vez se definió el patrón de plegado a utilizar, se fabricaron los prototipos con espesor no despreciable, dichos prototipos se realizaron en cartón corrugado a tres espesores y tamaños diferentes.

**Figura 40**

*Prototipo de alternativa 2 con espesor de 2 mm*



*Nota.* Prototipo fabricado en material semi rígido forrado de material reflectivo.

**Figura 41**

*Prototipo de alternativa 2 con espesor de 5 mm*



*Nota.* Prototipo fabricado en material rígido para estudio de estructuras fabricadas en espesor de 5mm.

**Figura 42**

*Prototipo de alternativa 2 con espesor de 1cm*



*Nota.* Prototipo fabricado en material rígido para estudio de estructuras fabricadas en espesor de 1cm.

En los prototipos se pudo observar que entre más módulos se agregan a la estructura, más inestable se vuelve esta, pues cada módulo agrega más peso al patrón de plegado, además, se puede ver que el tamaño de la estructura es muy grande aun cuando esta se encuentra plegada. Al considerar los diferentes grosores de las alternativas se pudo comprobar que el área aumenta significativamente y genera una carga visual que afecta la estética del dispositivo de manera negativa, también aumenta la cantidad de material a utilizar por lo que aumentaría también el costo y tiempo de fabricación del dispositivo.

### **Figura 43**

*Prototipo de alternativas colapsadas*

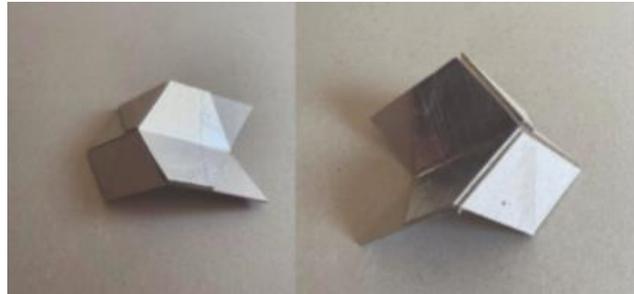


*Nota.* Prototipo plegado fabricado en material rígido para estudio de estructura.

Para la alternativa 3 se hicieron dos prototipos, siendo el primero un módulo que consiste en la unión de 4 submódulos en cartón, la construcción de este prototipo permitió verificar que el mecanismo fuera posible de plegar y desplegar.

**Figura 44**

*Prototipo Modulo alternativa 3*



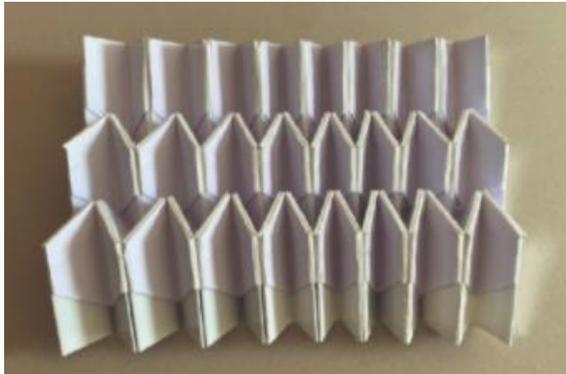
Se usó acrílico blanco como base para la estructura, este fue forrado con una película de vinilo polarizado para protegerlo del sol y sobre esta, una película de adhesivo de vinilo translucido para exteriores con el fin de unir los módulos en la cara refractiva del patrón.

**Figura 45**

*Prototipo alternativa 3*



En la cara posterior se utilizó adhesivo de tela blanca en las uniones y refuerzos de los módulos y sobre estas se utilizó un adhesivo para exteriores blanco a fin de protegerlas del clima, además de aumentar la resistencia estructural del patrón de plegado.

**Figura 46***Uniones alternativas 3*

### 10. Evaluación de alternativas

Para la selección de la alternativa final, se sometió cada una de ellas a una serie de pruebas rápidas de medición, en las que se obtuvieron datos cuantitativos para cada criterio a evaluar, con el fin de realizar una comparación objetiva entre las diferentes soluciones propuestas, para luego determinar en qué porcentaje se cumple cada una de ellas y seleccionar la alternativa que mejor solucione el problema de diseño.

Alternativa 1

**Figura 47***Alternativa 1 a evaluar*

Respecto la alternativa 1, añadir material en una de las caras del dispositivo para solucionar el problema de los rayos de luz atrapados no es suficiente, si bien se debe aumentar la superficie reflectiva, agregar material sin integrarlo al patrón crea un problema causado por el espesor del material ya que el material extralimita su capacidad de colapsarse y a la vez aumenta el peso del dispositivo.

Esta alternativa solo va a tener un ángulo de reflexión debido a que todos los espejos se encuentran en una misma cara, lo que ocasiona que solo se refleje la luz proveniente de una dirección. Teniendo en cuenta el estudio solar de Bucaramanga se llega a la conclusión de que el tener una sola dirección de reflexión en lugar de dos, limita en gran medida el funcionamiento del dispositivo lo que lo convierte en inviable.

**Tabla 9**

*Evaluación alternativa 1*

Alt 1	Criterio	Unidad	Valor aceptado	Alt 1
	Angulo de plegado	Grados	0° - 90°	0° - 40°
	Diferencia de intensidad de luz reflejada	Lumen	>1	20
	Intensidad de luz reflejada en diferentes puntos del espacio	Lumen	>400	410
	Propiedades del material dureza	Rockwell	M 90 - 100	M 90 - 100
	Propiedad del material resistencia a impactos	Ft lb / pulg	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
	Diferencia en el área superficial	Porcentaje	>50%	40%
	Tamaño	M 2	< 2	80 55 cm
	Peso total	Kg	< 4	2,5 kg

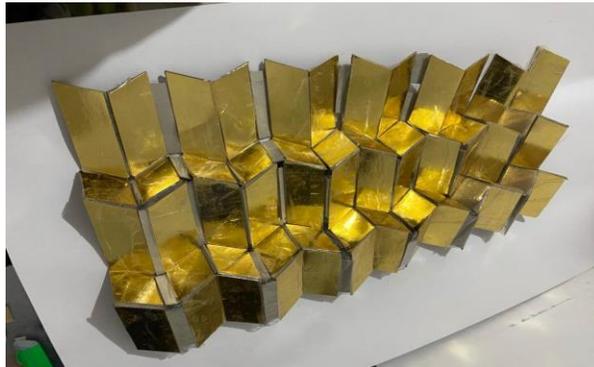
Facilidad de limpieza	Likert	> 75%	50%
Angulo de biselado	Grados	45°	45°
Repetición de módulos	Cantidad	> 2	120
Espesor de la lamina	Mm	< 0,5 mm	0,1 mm

*Nota.* Esta tabla muestra los resultados de la evaluación de la alternativa 1 comparados con los criterios y el valor aceptado.

Alternativa 2

### Figura 48

*Alternativa 2 a evaluar*



En esta alternativa se presenta varios inconvenientes puesto que las piezas rectangulares agregadas aumentan su tamaño a medida que el teselado crece de manera vertical, de tal forma que su área superficial, peso y volumen aumenta de manera significativa, lo que genera una carga visual considerable cuando el dispositivo logra colapsarse, aunque si se logra evidenciar un cambio en la intensidad de luz reflejada cuando está en uso es un dispositivo que estéticamente no cumple con los requerimientos planteados.

**Tabla 10:***Evaluación alternativa 2*

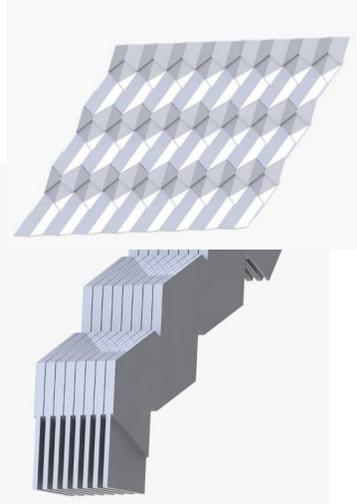
Alt 2	Criterio	Unidad	Valor aceptado	Alt 2
	Angulo de plegado	Grados	0° - 90 °	0° - 90 °
	Diferencia de intensidad de luz reflejada	Lumen	>1	220
	Intensidad de luz reflejada en diferentes puntos del espacio	Lumen	>400	610
	Propiedades del material dureza	Rockwell	M 90 - 100	M 90 - 100
	Propiedad del material resistencia a impactos	Ft lb / pulg	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
	Diferencia en el área superficial	Porcentaje	>50%	40%
	Tamaño	M 2	< 2	80x55 cm
	Peso total	Kg	< 4	3
	Facilidad de limpieza	Likert	> 75%	70%
	Angulo de biselado	Grados	45°	45°
	Repetición de módulos	Cantidad	> 2	120
	Espesor de la lamina	Mm	< 0,5 mm	0,1 mm

*Nota.* Esta tabla muestra los resultados de la evaluación de la alternativa 2 comparados con los criterios y el valor aceptado.

Alternativa 3

**Figura 49***Alternativa 3*

**Tabla 11***Evaluación alternativa 3*

Alt 3	Criterio	Unidad	Valor aceptado	Alt 2
	Angulo de plegado	Grados	0° - 90 °	0° - 90 °
	Diferencia de intensidad de luz reflejada	Lumen	>1	1410
	Intensidad de luz reflejada en diferentes puntos del espacio	Lumen	>400	1800
	Propiedades del material - dureza	Rockwel 1	M 90 - 100	M 90 - 100
	Propiedad del material - resistencia a impactos	Ft lb / pulg	0.4 - 0.5	0.4 - 0.5
	Diferencia en el área superficial	Porcentaje	>50%	85%
	Tamaño	M 2	< 2	85 cm x55 cm
	Peso total	Kg	< 4	1,5 kg
	Facilidad de limpieza	Likert	> 75%	85%
	Angulo de biselado	Grados	45°	45°
	Repetición de módulos	Cantidad	> 2	160
	Espesor de la lamina	Mm	< 0,5 mm	0,2mm

*Nota.* Esta tabla muestra los resultados de la evaluación de la alternativa 3 comparados con los criterios y el valor aceptado.

Esta alternativa es la que más logra presentar un cambio en la intensidad de luz reflejada al interior de la edificación, esto se debe a que cada una de sus caras logra redireccionar la luz solar a varios puntos del interior. Adicionalmente su capacidad de colapsarse es muy notoria, cuando el dispositivo está completamente desplegado tiene un área de 85 cm de ancho x 55 cm de largo, y al colapsarse se reduce a 12 cm de ancho y 34 de ancho, por lo que el porcentaje de disminución de área ocupada es del 85%, su peso es de 1.6 kg, lo que lo hace bastante liviano en comparación a las alternativas anteriores.

De acuerdo con el análisis de cada alternativa y teniendo en cuenta el porcentaje de importancia que tiene cada criterio asignado previamente en el Qfd, se le asignó un valor a cada uno de los criterios para cada alternativa y se compararon los resultados con el valor de aceptación establecido, determinando así que alternativa cumple mejor con los requerimientos previamente planteados.

**Tabla 12**

*Porcentaje y orden de prioridad de cada alternativa*

Tipo	¿Qué?	¿Cómo?	Criterio	% de aceptación	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Fun	Que capte la luz solar en la totalidad de su área	Libertad angular entre módulos debido a diseño de patrón de origami con uniones que se adapten al pliegue en todo momento de uso	Angulo de plegado	10,8	0,432	0,972	1,026
Fun	Que refleje de manera óptima de los rayos solares	Material de superficie reflectivo	Diferencia de intensidad de luz reflejada	9,14	0,37	0,6398	0,7769
		Mayor distribución de la luz en el espacio debido a mayor cantidad de ángulos reflejados	Intensidad de luz reflejada en diferentes puntos del espacio	7,43	0,22	0,5201	0,5944
Fun	Que sea resistente a la intemperie	Material de consistencia rígida y patrón de origami rígido	Propiedades del material - dureza	3,77	0,3016	0,3016	0,3016
		Material resistente a la corrosión	Propiedad del material - resistencia a impactos	1,11	0,0888	0,0888	0,0888
Fun	Que optimice el espacio al estar en desuso	Reducción del espacio ocupado debido a su diseño colapsable	Diferencia en el área superficial	11,79	0,2358	0,9432	1,179
Uso	Que sea fácil de accionar	Tamaño del dispositivo cómodo para todos los percentiles	Tamaño	9,93	0,1986	0,0993	0,993
		Peso del dispositivo liviano	Peso total	11,61	0,6966	0,3483	1,0449

<b>Uso</b>	Que sea de fácil mantenimiento	Superficies impermeables	Facilidad de limpieza	5,86	0,4102	0,4688	0,4688
<b>Uso</b>	Que sea seguro para manipular	Bordes perfilados	Angulo de biselado	6,07	0,4856	0,4856	0,4856
<b>Est</b>	Que tenga un diseño estéticamente atractivo	Composición modular	Repetición de módulos	12,46	0,8722	0,9968	1,1214
		Lamina delgada	Espesor de la lamina	9,98	0,5988	0,8982	0,8982
					4,91	6,76	<b>8,98</b>

*Nota.* Esta tabla muestra la comparación de los resultados obtenidos de cada alternativa respecto a los criterios funcionales, de uso y estéticos.

Se evidencia que la alternativa 3 cumple de manera óptima cada uno de los criterios planteados.

## 11. Diseño del soporte para alternativa final

### 11.1. Requerimientos del soporte

**Tabla 13**

*Requerimientos de diseño del soporte*

<b>Tipo</b>	<b>¿qué?</b>	<b>¿cómo?</b>	<b>Criterio</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor aceptado</b>
Fun	Que soporte el peso total del dispositivo	Mas de 2 apoyos de sujeción del dispositivo	Cantidad de apoyos	Cantidad	>2
Fun	Que se adapte al movimiento del dispositivo	Sistema de rotulas para las agarraderas	Uso de sistema de rotulas	Si/ no	Si
Fun	Que sea resistente a la intemperie	Materiales resistentes como el acero y polímeros	Uso de alguno de los materiales resistentes a factores climáticos	Si/ no	Si
Uso	Que sea fácil de accionar	Peso del soporte	Peso total	Kg	<4 kg

*Nota.* Esta tabla muestra los requerimientos planteados para el diseño y fabricación del soporte de la estructura.

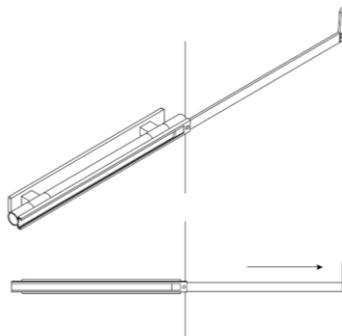
## 11.2. Alternativas de soporte

### 11.2.1. Alternativa de soporte 1

Para la alternativa 1 se diseña una base metálica que permite instalar el dispositivo en uno de los laterales de la ventana de forma que este no sea visible desde el interior, únicamente será visible cuando el dispositivo se encuentre en uso.

#### Figura 50

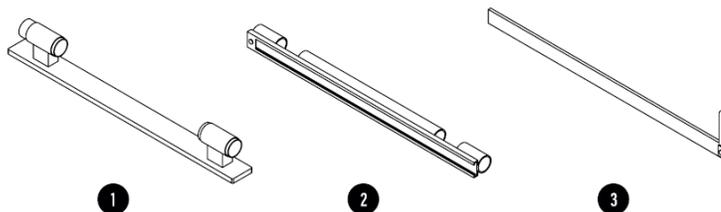
##### Alternativa de soporte 1



Está conformada de tres piezas, una base que se sujeta mediante pernos a la pared próxima a la ventana, un riel que puede rotar verticalmente para ajustar el dispositivo a la incidencia de los rayos solares y un brazo que se extiende para plegar y desplegar el patrón.

#### Figura 51

##### Piezas Soporte alternativa 1

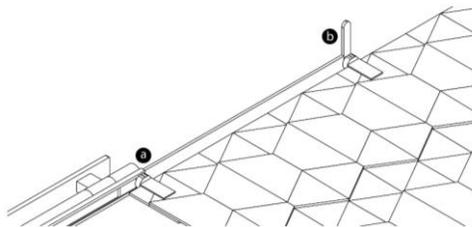


*Nota.* Las piezas encajan entre si de manera que no necesitan elementos de unión externos.

Se deben soldar los rodamientos del elemento de unir al riel (a) y el brazo metálico (b) de tal forma que le brinde soporte al patrón de plegado y permita que este se pliegue y despliegue completamente.

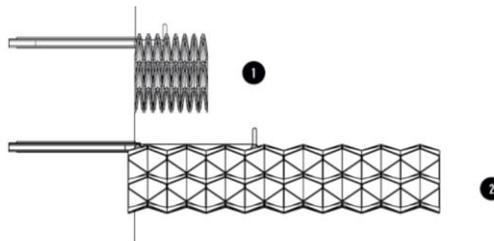
### Figura 52

*Sistema de sujeción alternativa soporte 1*

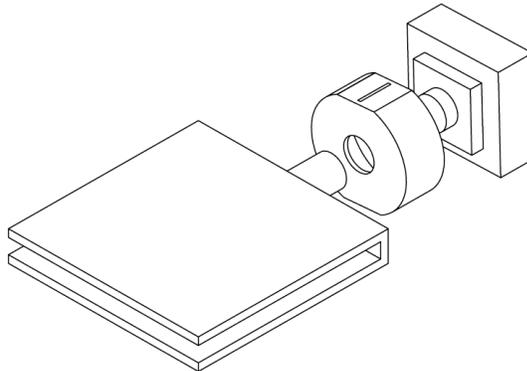


Para accionar el dispositivo solo se debe mover el brazo metálico, tomándolo desde la agarradera y ejerciendo fuerza horizontal sobre este, desplegando a su vez el patrón reflectivo y ajustándolo a la incidencia de rayos solares.

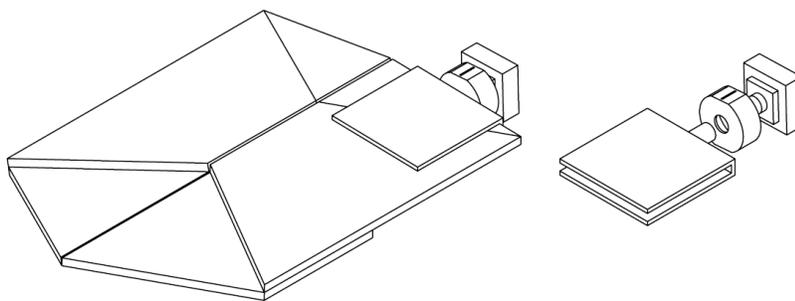
### Figura 53 *Accionamiento de alternativa soporte 1*



Los elementos de sujeción del patrón de plegado deben poder adaptarse a los movimientos que sus módulos hacen al plegar y desplegar la estructura, ya que al ser un patrón de origami rígido este se va a mover en varias dimensiones al mismo tiempo. Los módulos rotan a la vez que se desplazan por un eje cambiando su posición de horizontal a vertical una vez el patrón se encuentra completamente plegado, por lo que el elemento de sujeción debe poder replicar el mismo movimiento.

**Figura 54***Agarradera del soporte 1*

El elemento de unión consta de una pinza metálica que se adhiere al módulo final del patrón de plegado por medio de presión, esta pieza se une a un rodamiento que le permita rotar junto al módulo y, por último, el rodamiento se une a una pieza metálica que se desliza dentro de un riel a lo largo de un eje.

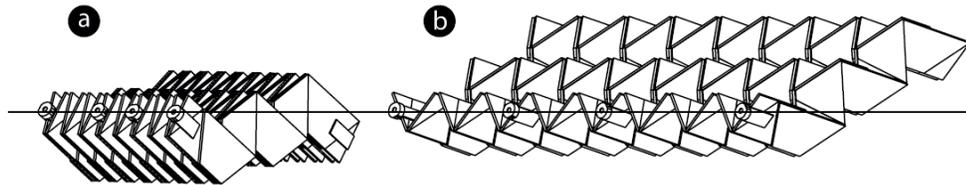
**Figura 55***Sujeción del módulo*

*Nota.* La ilustración muestra la forma correcta de sujeción de los módulos a las agarraderas metálicas

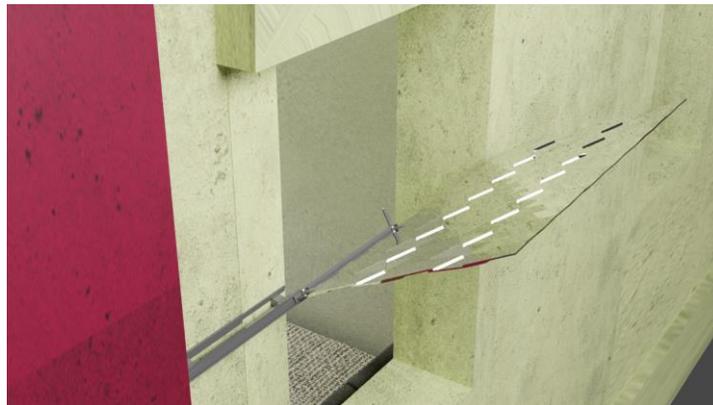
La sujeción por medio de este elemento metálico permite al módulo girar mientras se desliza a través de un eje delimitado por un riel.

**Figura 56**

*Desplazamiento del dispositivo con alternativa de soporte 1*



Una vez definido el sistema de sujeción se debe definir la estructura de soporte del patrón, esta estructura debe estar sujeta a la pared exterior o al marco metálico de la ventana de tal forma que el patrón pueda abrirse hacia afuera captando más luz solar.

**Figura 57** *Render alternativa soporte 1*

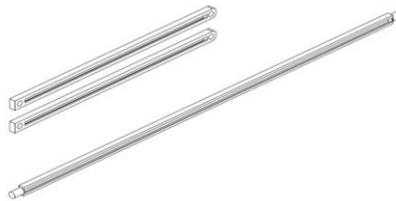
### **11.2.2. Alternativa de soporte 2**

Como segunda alternativa se agregó más estabilidad al patrón de plegado por medio del diseño de un marco metálico que pudiera ser encajado en la estructura de la ventana y manteniendo como prioridad los movimientos que realiza el patrón a la hora de plegarse y desplegarse.

El marco consta de dos rieles laterales que pueden rotar desde la estructura de la ventana a lo largo del eje Y, que sujetan un riel superior de tal forma que este pueda rotar sobre su eje cuando el patrón de plegado lo requiera, dentro de dichos rieles se encuentran los elementos de sujeción rotativos y como elemento extra se añade un sujetador modificado que rota en el eje Y para adaptarse a los cambios de ángulo que toma el dispositivo al cerrarse completamente.

### Figura 58

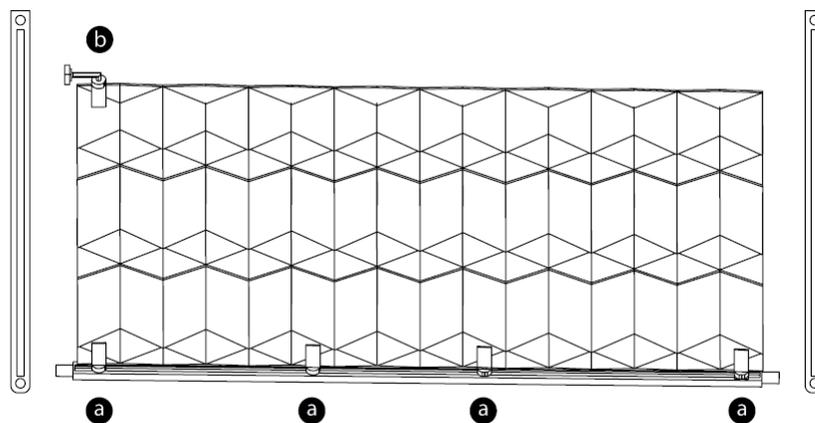
*Rieles laterales alternativa soporte 2*



Los pasadores en el dispositivo deben poder moverse libremente para asegurar el patrón de plegado a lo largo de la estructura independientemente del grado de despliegue que esté presente.

### Figura 59

*Alternativa soporte 2 con el dispositivo*

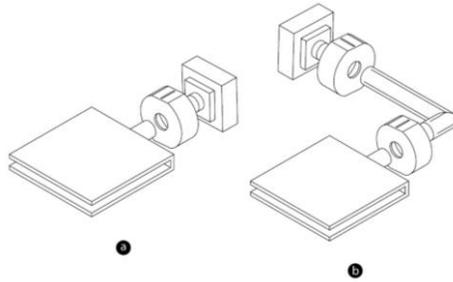


*Nota.* La ilustración muestra el patrón de plegado junto con los rieles laterales y superior.

El sujetador se diseña en forma de L pues este debe sujetarse a uno de los rieles laterales, sirviendo de guía para el despliegue del patrón de plegado.

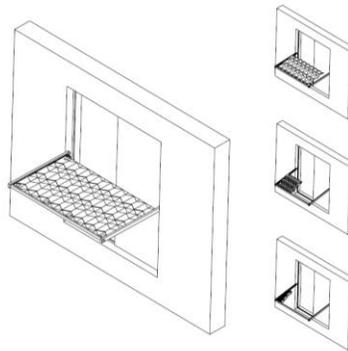
**Figura 60**

*Agarradera soporte 2*

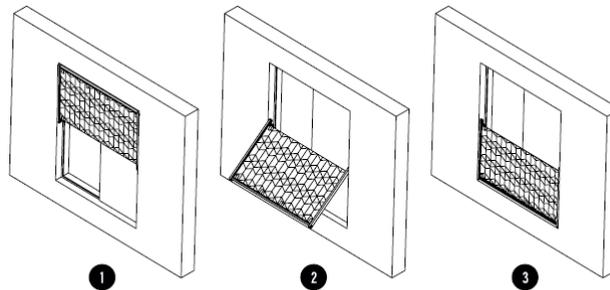


**Figura 61**

*Alternativa soporte 2 En ventana*



La disposición de los pasadores en esta alternativa permite dar un mayor soporte a lo largo y ancho del dispositivo de tal forma que se disminuya el riesgo de mal funcionamiento por fuerzas externas como la fuerza del viento o una fuerte llovizna. Esta alternativa también nos permite generar sombra al ajustar el marco para bloquear los rayos de luz con bajo ángulo de incidencia como lo es la luz al amanecer y al atardecer, evitando deslumbramientos o molestias sobre el usuario.

**Figura 62***Accionamiento de la alternativa soporte 2*

La posición 1 y 3 corresponden al uso del dispositivo como medio de bloqueo total de luz, en esta posición los brazos del dispositivo están en posición de descanso, paralelos a la estructura de la ventana, lo que puede ser usado por motivos de privacidad o para reducir un poco la iluminación dentro de la habitación sin interferir con el flujo de aire del exterior a la misma.

La posición 2 puede ser usada para redirigir la luz incidente con baja angulación al cielorraso sin cortar la comunicación que el usuario tiene con el exterior, ni interferir con la ventilación de la habitación, además, el usuario también puede hacer uso de los ángulos formados en el patrón al plegarse para redirigir la luz al lugar que más le convenga.

**Figura 63***Render alternativa soporte 2*

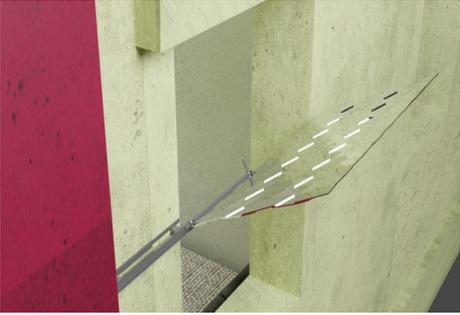
### 11.3. Evaluaciones alternativas de soporte

#### 11.3.1. Evaluación alternativa soporte 1

Esta alternativa al tener únicamente 2 puntos de sujeción no le brinda la estabilidad ni el apoyo suficiente al dispositivo, por lo que el patrón de plegado tiende a pandearse y no se mantiene rígido cuando está completamente desplegado, lo que genera cierto grado de inseguridad al accionarlo, pues aumenta la posibilidad de que el dispositivo presente una falla en su funcionamiento o se desprenda del soporte.

**Tabla 14**

#### *Evaluación alternativa 1*

Alt 1	Criterio	Unidad	Valor aceptado	Alt 1
	Cantidad de apoyos	Cantidad	>2	2
	Dicotómicas	Si/ no	Si	No
	Propiedades del material	Si/ no	Si	Si
	Peso total	Kg	<4 kg	2

Nota. Esta tabla muestra los resultados de la evaluación de la alternativa 1 respecto a los criterios definidos y su valor aceptado.

#### 11.3.2. Evaluación alternativa soporte 2

Esta alternativa sujeta el dispositivo en 4 puntos diferentes, lo que agrega mayor estabilidad al momento de accionarlo, sus apoyos pueden soportar perfectamente el peso del dispositivo y le permite moverse libremente sin afectar su capacidad de plegado y eliminando completamente la sensación de inseguridad.

**Tabla 15***Evaluación Alternativa 2*

Alt 2	Criterio	Unidad	Valor aceptado	Alt 2
	Cantidad de apoyos	Cantidad	>2	4
	Dicotómicas	Si/ no	Si	Si
	Propiedades del material	Si/ no	Si	Si
	Peso total	Kg	<4 kg	2

Nota. Esta tabla muestra los resultados de la evaluación de la alternativa 2 respecto a los criterios definidos y su valor aceptado.

**Tabla 16***Calificación de cada alternativa de soporte*

TIPO	¿QUÉ?	¿CÓMO?	CRITERIO	PORCENTAJE DE ACEPTACIÓN	ALT 1	ALT 2
FUN	Que soporte el peso total del dispositivo	Más de 2 apoyos de sujeción del dispositivo	Cantidad de apoyos	45	10	45
FUN	Que se adapte al movimiento del dispositivo	Sistema de rotulas para las agarraderas	Uso de sistema de rotulas	20	10	20
FUN	Que sea resistente a la intemperie	Materiales resistentes	Uso de alguno de los materiales resistentes a factores climáticos	15	15	15
USO	Que sea fácil de accionar	Peso del soporte	Peso total	20	20	20
				100	55	100

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos de la evaluación de cada alternativa respecto a los criterios planteados

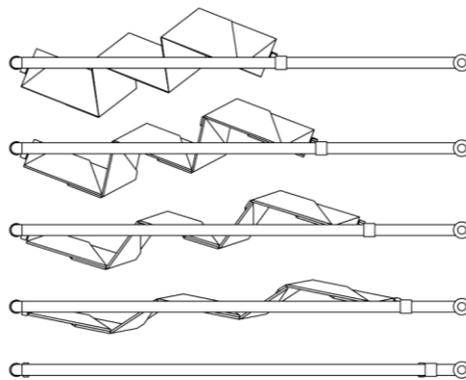
#### 11.4. Evolución de alternativa de soporte

Uno de los factores para tener en cuenta a la hora de realizar este producto fue el costo de este, si bien es cierto que la alternativa escogida de soporte para el patrón de plegado cumple con los requerimientos mecánicos necesarios para el correcto funcionamiento del dispositivo se debe mantener el diseño en el rango de costo escogidos al inicio del proceso de diseño.

El análisis del movimiento de las piezas que conforman el marco/soporte junto con la interacción que este tiene con el movimiento de patrón de plegado permite modificar sus piezas de forma que se simplifiquen, lo que resultaría en una disminución de material y tiempo de fabricación.

#### Figura 64

*Evolución alternativa de soporte*

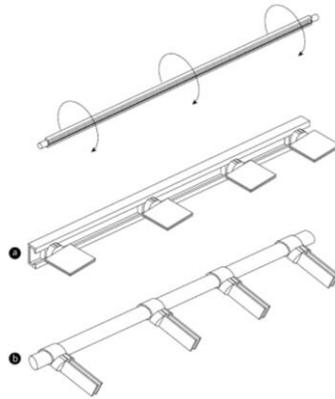


*Nota.* Vista lateral del cambio en el patrón a medida que este se despliega.

Al estudiar el movimiento visto desde un lateral del patrón al plegarse, se puede concluir que este no sigue un eje al momento de moverse, el patrón de plegado se inclina una vez que este se empieza a cerrar por lo que el riel superior debe también responder a este movimiento ya que está diseñado para rotar junto con el patrón a medida que este se pliega, con la ayuda de dos pivotes soldados a cada extremo del riel que se encajan en los bazos laterales.

**Figura 65**

*Abrazaderas del soporte*

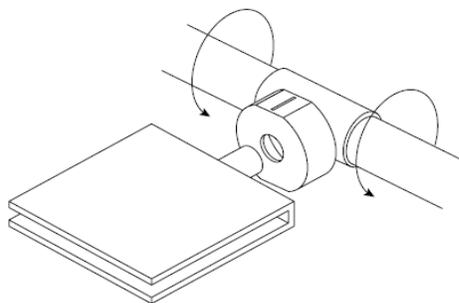


*Nota.* Simplificación del sistema de agarraderas y riel.

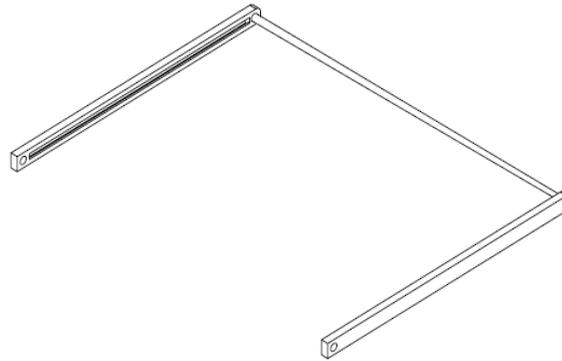
Otra forma de abordar la misma situación es cambiando el riel por una barra de perfil circular de tal forma que sea la agarradera junto con el patrón los que roten sobre este, para este diseño es necesario modificar la agarradera, cambiando la pieza que se desliza dentro del riel por una sección de tubo que pueda girar libremente sobre la barra.

**Figura 66**

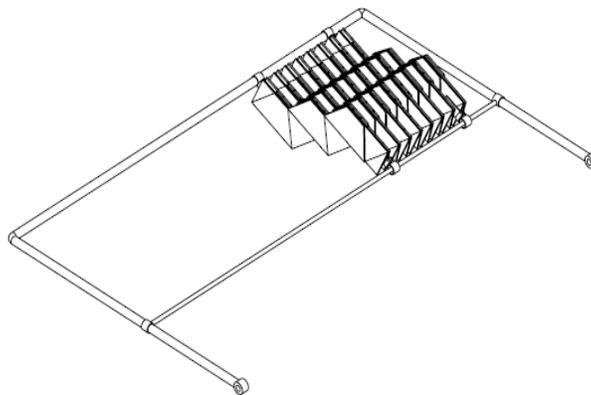
*Rotación de Agarradera*



El cambio en el diseño permite eliminar dos pasos del proceso de fabricación puesto que simplemente se debe soldar una barra sin ningún proceso de mecanizado a los laterales.

**Figura 67***Marco del soporte*

Al aplicar el mismo concepto de diseño usado en el riel superior podemos sustituir el riel inferior por otra barra de perfil circular que a diferencia de la barra superior, no se encuentra fija y debe poder deslizarse por los laterales.

**Figura 68***Soporte del dispositivo*

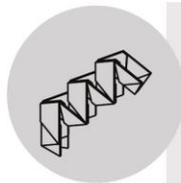
En el diseño anterior se pensaron los laterales como rieles, pero estos pueden ser sustituidos también por barras por los que se puede deslizar la barra inferior móvil con la ayuda de dos secciones de tubo roscado

## 12. Arquitectura del producto

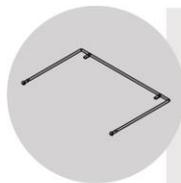
### 12.1. BOM

Figura 69

Bill of materials



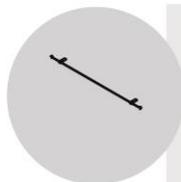
Patrón			
Material	Cant.	Valor unidad	Proveedor
Cinta adhesiva de tela para exteriores	3	4.000 c/u	Home center
Vinilo translucido para exteriores	1/2 m	12.000/m	Adh Papeles adhesivos
Vinilo blanco para exteriores	1/2 m	12.000/m	Adh Papeles adhesivos
Película de plástico polarizado	1/2 m	16.000/m	Adh Papeles adhesivos
Lamina de acrílico de 2mm de espesor	0.7m <sup>2</sup>	180.000 0.9m*1.2m	k&M



Soporte			
Material	Cant.	Valor unidad	Proveedor
Varilla de acero lisa de 1/2 pulg x 6m	2.07m	40.000	El punto del hierro
Tubo Cerramiento Galvanizado 3/4pg x 1.5mm x 6m	0.05 m	57.000	Home center El punto del hierro



Agarradera			
Material	Cant.	Valor unidad	Proveedor
Platina Aluminio 30x2mm 1m	0.11m	23.000	Home center
Rodamiento Balinera 8mm 608zz	8	4.000 c/u	El punto del hierro
Tubo Cerramiento Galvanizado 3/4pg x 1.5mm x 6m	0.16 m	57.000	Home center El punto del hierro



Barra móvil			
Material	Cant.	Valor unidad	Proveedor
Varilla de acero lisa de 1/2 pulg x 6m	0.87m	40.000	El punto del hierro
Tubo Cerramiento Galvanizado 3/4pg x 1.5mm x 6m	0.05 m	57.000	Home center El punto del hierro

#### PROVEEDORES

Nombre	Direccion	Teléfono
Home center	Cra. 21 #45-02, Bucaramanga	01-800-0127373
El punto del hierro	Cl. 6 #7-06, Piedecuesta	315 8897471
Adh Papeles adhesivos	Cl. 41 ## 16-35, Bucaramanga	(607) 6914862
k&M	Cra. 24 #28-20, Bucaramanga	(7) 6400707

## 12.2. Render Dispositivo final

**Figura 70**

*Dispositivo colapsado*



*Nota.* Render del dispositivo en su estado completamente plegado en posición vertical.

**Figura 71**

*Dispositivo semidesplegado*



*Nota.* Render del dispositivo en su estado semidesplegado en posición vertical.

**Figura 72**

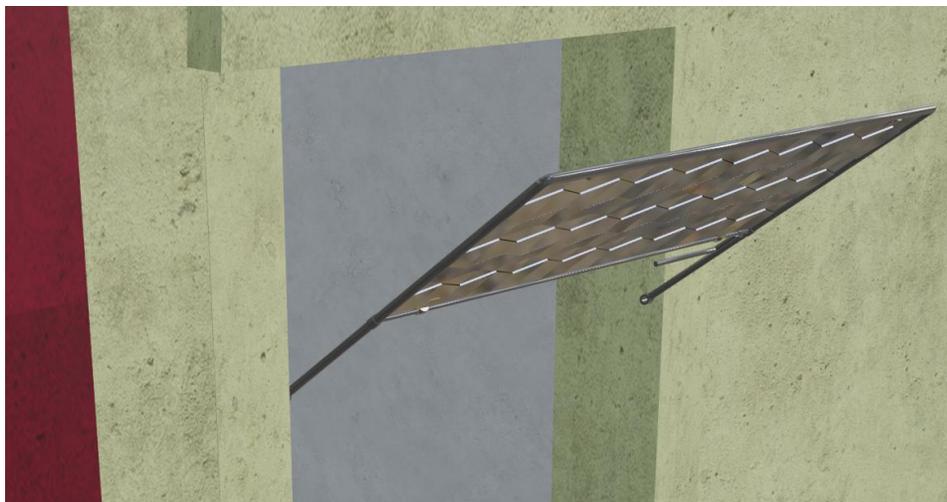
*Dispositivo completamente desplegado*



*Nota.* Render del dispositivo en su estado completamente desplegado en posición vertical.

**Figura 73**

*Soporte accionado*



*Nota.* Render del dispositivo en su estado completamente desplegado en posición inclinada.

## 12.3. Costos

Figura 74

Modelo de costos

COSTOS DE PRODUCCIÓN				
DISPOSITIVO				
ELEMENTOS	MATERIALES	CANTIDAD	VALOR DE LA UNIDAD	TOTAL
PATRÓN	Lámina de acrílico - 2mm de espesor	0,7 m <sup>2</sup>	180000/ 0.9m*1.2m	116000
	Película de plástico polarizado	1/2 m	16000/m	8000
	Vinilo Blanco para exteriores	1/2 m	12000/m	6000
	Vinilo traslucido para exteriores	1/2 m	12000/m	6000
	Cinta adhesiva de tela para exteriores	3	4000	12000
SOPORTE	Varilla de acero lisa de 1/2 pulg x 6m	2,07 m	40000	13800
	Tubo galvanizado 3/4 pulg x 1,5 mm x 6m	0,5 m	57000	4700
MANIJA	Platina Aluminio 30 x 2mm x 1m	0,11 m	23000	2500
	Rodamiento Balinera	4	4000 c/u	16000
	Tubo galvanizado 3/4 pulg x 1,5 mm x 6m	0,16	57000	1500
BARRA MOVIL	Varilla de acero lisa de 1/2 pulg x 6m	0,87	40000	5800
	Tubo galvanizado 3/4 pulg x 1,5 mm x 6m	0,5 m	57000	4700
			<b>TOTAL</b>	<b>197000</b>
MANO DE OBRA				
ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR	TOTAL	
Ornamentador	4 h	25000 Hora	100000	
Corte a laser	120 Min	450 x Min	54000	
			<b>TOTAL</b>	<b>154000</b>
TRASPORTE				
Domicilio			6000	
			<b>TOTAL</b>	<b>6000</b>
<b>TOTAL DISPOSITIVO PLEGABLE DE CAPTACION Y REGULACION SOLAR</b>			<b>\$ 357.000</b>	

*Nota.* La imagen resume los costos de producción del prototipo funcional incluyendo material, tercerización de procesos y transporte de piezas y elementos.

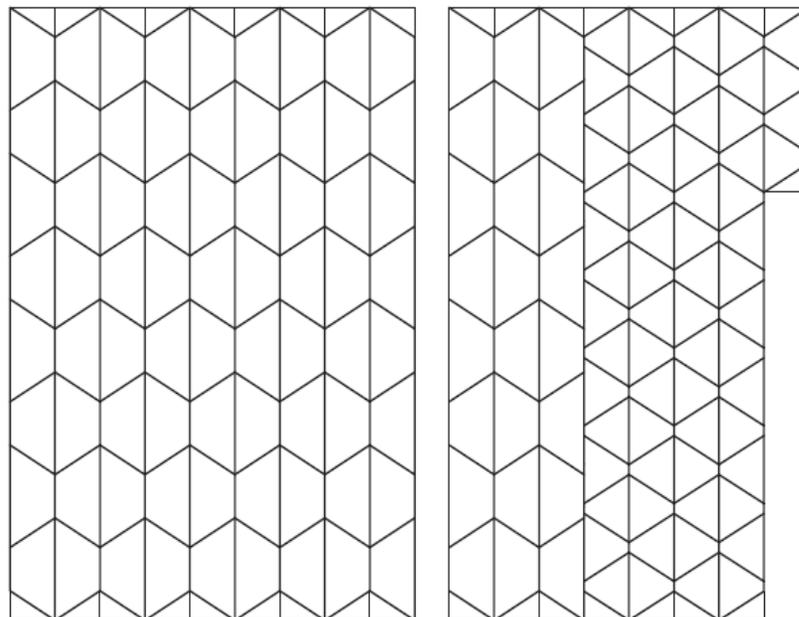
### 13. Modelo de Producción

#### 13.1. Proceso de construcción y fabricación del dispositivo

Para la fabricación del patrón de plegado se necesitaron dos máquinas de corte, una cortadora a láser para cortar las piezas y una troqueladora para cortar la película de adhesivos

#### Figura 75

*Patrón del dispositivo para corte a laser de piezas en acrílico*

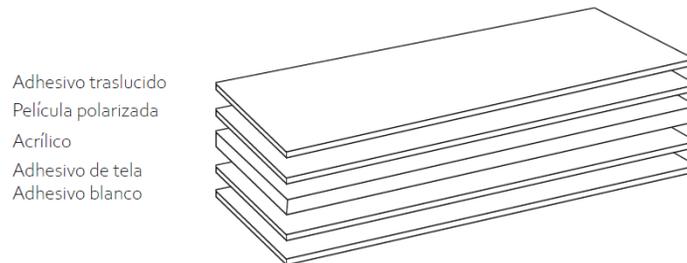


Nota. Las piezas que conforman el patrón de plegado se organizan para el corte en dos láminas de acrílico de 50 x 70 cm de acuerdo con las especificaciones de la cortadora laser.

El prototipo funcional consta de 160 piezas, para la fabricación de los módulos de dos pisos se deben unir dos piezas formando un total de 80 módulos que se unieron por medio de una película de adhesivo de tela para exteriores, adhesivo para exteriores blanco, película polarizada y adhesivo para exteriores traslucido.

**Figura 76**

*Orden de unión de adhesivos al acrílico*



La unión de las piezas se hace alternando una pieza M1 y una pieza M2, estos se unen aplicando cloruro de metileno en una de sus caras creando una pieza o un módulo de dos pisos.

**Figura 77**

*Superposición de submódulos*

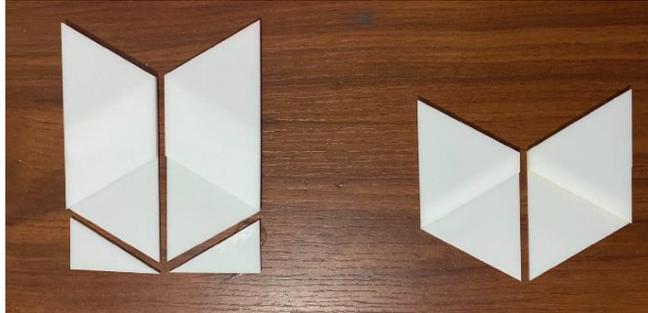
**Figura 78**

*Unión de Submódulos en acrílico con cloruro de metileno*



**Figura 79**

*Módulos del dispositivo*

**Figura 80**

*Módulos totales unidos*



Una vez se tienen los módulos unidos se deben unir la película de adhesivo polarizado para proteger el módulo de los rayos del sol.

**Figura 81**

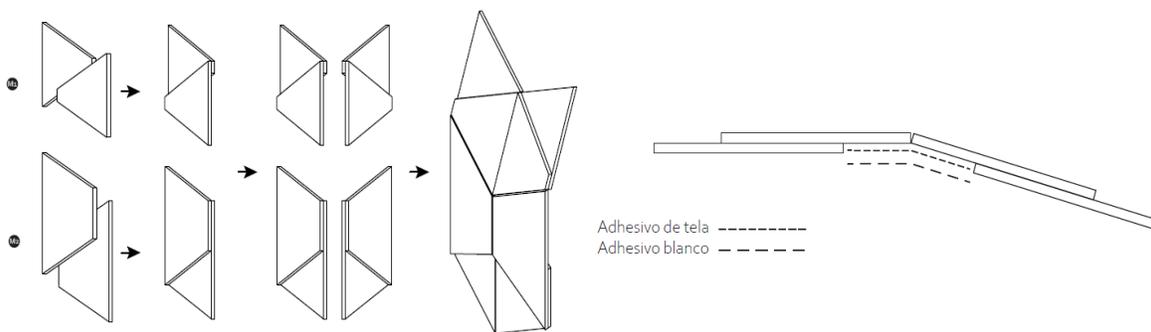
*Película de vinilo polarizado unido a módulos de acrílico*



La unión entre modulo se hace de acuerdo con el piso en que esté la pieza, es decir, las piezas que están en el piso superior del módulo se unen con la pieza superior del siguiente modulo, colocando la película adhesiva previamente cortada sobre las caras más próximas al vértice donde se dobla la figura

### Figura 82

*Diagrama del proceso de unión entre módulos*



### Figura 83

*Unión de módulos para formar una fila plegable*



*Nota.* Los módulos deben unirse de acuerdo con respetando la dirección de plegado planteada en la figura 33

**Figura 84**

*Unión de todos los módulos del dispositivo*



Luego de unir los módulos para formar las filas, se procede a unir las filas hasta conseguir las dimensiones totales de la estructura que dependen de las medidas de la ventana, esta estructura consta de la unión de 8 filas y se sigue el mismo procedimiento que se describió para la unión de módulos.

**13.2. Fabricación del soporte metálico**

En cuanto a las agarraderas metálicas, se fabricaron haciendo uso de una barra de acero perfilado soldada a una barra roscada que permite la rotación de los módulos del dispositivo, dicho rodamiento fue soldado a la vez a una barra de perfil redondo que se desliza sobre del marco superior.

**Figura 85**

*Agarraderas sobre el marco metálico*



Se deben agregar las agarraderas antes de empezar a soldar las barras que conforman el marco, de otra forma se dificultara el proceso de ensamblaje, dicho marco está formado por tres barras de perfil redondo cortadas de acuerdo con las dimensiones del patrón de plegado, cabe recordar que el patrón de plegado está construido de forma que se puedan agregar más módulos dependiendo de las características del edificio en que se va a instalar el dispositivo.

### **Figura 86**

*Marco metálico*



Luego se debe soldar la barra móvil, que consta de una barra de perfil redondo soldada a dos secciones de tubo metálico lo suficientemente grande para poder deslizarse sobre la barra metálica que se usó para soldar el marco de la estructura

### **Figura 87**

*Barra móvil*



Al igual que con el marco, las agarraderas y la manija se deben colocar sobre la barra móvil antes de soldar las secciones de tubo metálico que se ensamblan a los laterales del marco.

### Figura 88

*Ensamble soporte metálico*



### Figura 89

*Sección de tubo soldado al marco metálico*



En este punto se debe ensamblar el patrón de plegado extendiéndose completamente y ajustando las agarraderas de tal forma que el patrón quede fijo dentro de estas.

**Figura 90**

*Ensamble del soporte metálico*



Por último, se añade al marco metálico, un eje con el que se instala el dispositivo a la pared.

**Figura 91**

*Pivote para la instalación.*



*Nota.* Sistema de sujeción para instalación del marco metálico del dispositivo a la fachada de la vivienda.

### 13.3. Dispositivo Instalado

#### Figura 92

*Dispositivo instalado en la ventana*



*Nota.* Dispositivo desplegado y colapsado instalado en la fachada del edificio la hispana, ubicado en la carrera 23 # 7 24, con una orientación sur este.

## 14. Testing

### 14.1. Protocolo de Verificación

Se evalúan los componentes del patrón de plegado para verificar si estos cumplen con los requerimientos ya antes planteados, dichos requerimientos corresponden a funciones indispensables para el correcto funcionamiento del producto tales como las características del material de fabricación y películas adhesivas, así como la capacidad de reflexión de luz del diseño de patrón de plegado escogido.

**Tabla 17***Requerimiento a evaluar para protocolo de verificación*

<b>Tipo</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>valor aceptado</b>	<b>Instrumento</b>
Funcional	Ángulo de plegado	0° a 90° grados	Transportador
Funcional	Intensidad de luz reflejada en diferentes puntos del espacio	>400 lúmenes	Luxómetro digital
Funcional	Adaptabilidad del módulo a la geometría solar de Bucaramanga	Si	Análisis de soleamiento
Funcional	Rigidez del patrón de origami	Resistencia de la cinta con las uniones	Probetas de película adhesiva
Funcional	Diferencia en área superficial porcentaje de reducción	50%	Metro
uso	Peso dispositivo	<3 kg	Bascula
Uso	Espesor de lámina	<0,5 mm	
uso	Angulo de biselado si/no	45 °	Transportador
Estético	Repetición de módulos si/no	>2	Conteo

*Nota.* Esta tabla muestra los requerimientos a evaluar en el proceso de verificación junto con el valor respuesta aceptado y el instrumento de medida.

#### **14.1.1. Justificación.**

Se debe determinar si el prototipo cumple con los requerimientos planteados en el proceso de diseño para asegurar que el dispositivo se mantenga fiel a su objetivo de uso, de no hacerlo el producto podría operar de manera incorrecta y no sería apto para someterlo al siguiente proceso de validación con usuarios.

#### ***14.1.2. Objetivo de la prueba.***

Determinar que el patrón de plegado cumpla con los requisitos mecánicos para asegurar un funcionamiento eficiente, verificando por medio de una balanza y un metro que tanto su peso como su tamaño y espesor del material son adecuados para su correcto uso.

Evaluar las relaciones mecánicas entre los módulos para determinar la libertad angular máxima y mínima del patrón diseñado al momento de plegarse y desplegarse completamente.

Evaluar la resistencia de sus uniones al someterlas a pruebas de fatiga por repetición.

Determinar el porcentaje de reducción de área ocupado a plegar y desplegar el dispositivo.

Verificar la adaptabilidad a diferentes fachadas del dispositivo al mantener la posibilidad de alargar o acortar sus dimensiones mediante el uso de módulos.

Estudiar las propiedades reflectivas del dispositivo a partir del estudio de soleamiento en la ciudad de Bucaramanga.

#### ***14.1.3. Parafernalia***

Elementos de medición: Báscula, metro, transportador, luxómetro digital

Elementos de prueba: prototipo funcional, transportador, película adhesiva

Elementos de recolección de datos: computador, tablas de Excel

#### ***14.1.4. Actividades***

Para verificar las características físicas y mecánicas del dispositivo se debe colocar el patrón de plegado sobre una báscula para determinar el peso de este, a su vez se deben tomar medidas de este en su estado plegado y desplegado obteniendo así tanto sus dimensiones como su libertad angular y su porcentaje de reducción de área ocupada al plegarse.

Por otra parte, se harán pruebas sobre un módulo para probar la resistencia de las uniones con adhesivos, los módulos de prueba se someterán a pruebas de fatiga por repetición para determinar cuántas veces se puede doblar el material sin que este se quiebre, para esta verificación se debe simular el movimiento que haría normalmente el patrón al accionarse contando cada vez hasta que el material que los une se quiebre.

Por último, se debe verificar que los ángulos formados al plegar progresivamente el dispositivo permitan tener un control sobre la luz que se refleja dentro de las edificaciones, para esto se deben tomar lecturas con y sin el dispositivo para poder evaluar si hay un cambio al hacer uso de este.

Responsables:

Marly Vargas, Jairo Agudelo

Lugar y fecha:

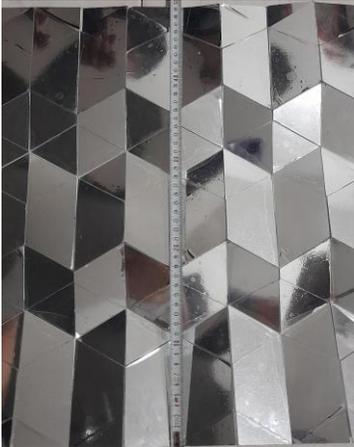
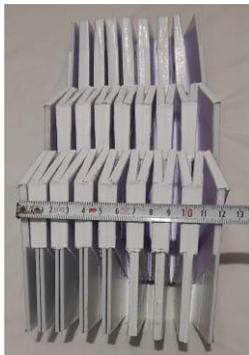
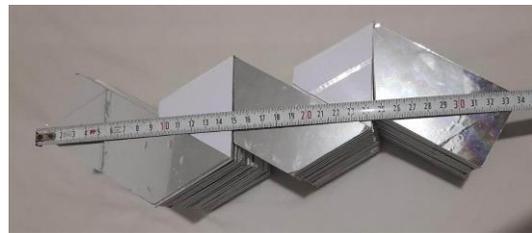
Enero 25 del 2022

Carrera 23 # 7 – 24

#### ***14.1.5. Resultados de la prueba***

Para iniciar las verificaciones se empezó tomando las medidas del dispositivo haciendo uso de un metro y una báscula, dichas medidas se tomaron con el dispositivo en dos posiciones, primero se tomaron medidas a lo largo y ancho del dispositivo con el patrón de plegado abierto y luego se tomó la medida desde el primer módulo al último con el patrón completamente plegado

Estas medidas fueron recopiladas y se presentan en la siguiente tabla, una vez se tuvieron los datos se calculó su área ocupada vista desde la cara superior y el porcentaje de reducción de área ocupada por el dispositivo cuando este se pliega.

**Figura 94***Toma de medida del ancho del dispositivo***Figura 93***Toma de medida del largo dispositivo desplegado***Figura 96***Toma de medida del ancho plegado***Figura 95***Toma de medida del largo plegado***Tabla 18***Medidas del dispositivo desplegado y plegado*

<b>Estado del dispositivo</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Área ocupada (m<sup>2</sup>)</b>
Desplegado	0,85	0,55	0,4675
Plegado	0,12	0,34	

*Nota.* Esta grafica muestra las medidas del dispositivo mientras se encuentra desplegado y plegado

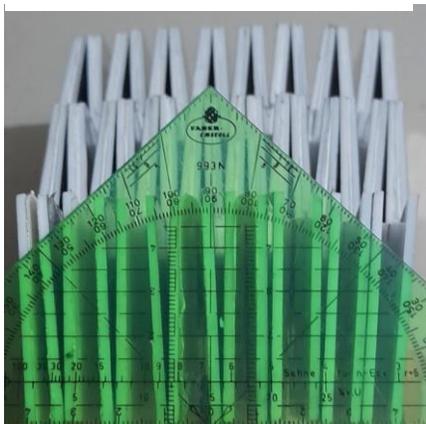
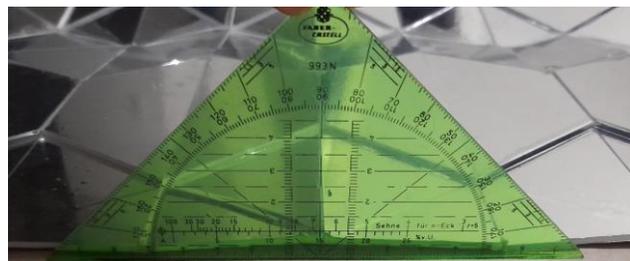
**Tabla 19***Porcentaje de reducción*

<b>Reducción del espacio al desplegarse</b>	0,85-0,12	0,73
<b>% de reducción</b>	$(0,73/0,85) * 100$	85,88235294

*Nota.* Esta grafica muestra el porcentaje de reducción de las dimensiones del patrón una vez se pliega.

Los datos corroboran que el diseño de patrón de plegado y la configuración de sus partes encajan, según los datos y tal como se ve en las fotografías hay una reducción del 85% en el eje x cumpliendo su cometido de reducir espacio al plegarse.

Con la ayuda de un transportador se tomaron las medidas de los ángulos que se forman en los últimos módulos de cada fila al plegarse y desplegarse, a fin de conocer que efecto tiene en volumen generado por las películas de adhesivo que se usaron para unir los módulos a la capacidad de plegado y desplegado de este.

**Figura 98***Toma de ángulo plegado***Figura 97***Toma del ángulo desplegado*

**Tabla 20***Ángulos entre módulos del dispositivo*

Angulo ideal	Estado del dispositivo	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8
0°	Plegado	3°	2°	2°	1°	1°	1°	2°	4°
180°	Desplegado	177°	178°	179°	178°	177°	179°	178°	176°

*Nota.* Esta tabla muestra los ángulos formados entre los módulos cuando el dispositivo se encuentra plegado y desplegado.

Los resultados muestran que la tensión de las uniones dentro del dispositivo no interfiere de manera significativa al momento de plegar o desplegar completamente, pues los ángulos formados entre sus módulos al plegarse son muy cercanos a cero, lo cual asegura que los adhesivos no interfieren en la capacidad de reducción de espacio del dispositivo. De igual forma las mediciones obtenidas con el patrón de plegado abierto, indican que el patrón de plegado puede mantenerse casi completamente plano al desplegarse

Por otro lado, los resultados del peso tomado con la báscula mostraron que el dispositivo tiene un peso de tan solo 1.6 kg, dicho peso se encuentra dentro del rango de peso permitido.

**Figura 99***Toma del peso del dispositivo*

Para la elección del material adhesivo a utilizar se hicieron pruebas con tres tipos de adhesivos: cinta corriente transparente, adhesivo reforzado con fibras de tela para exteriores y adhesivo de vinilo transparente para exteriores, se unieron dos módulos de cartón con cada uno de los adhesivos y se simuló el movimiento angular al que deben ser sometidas las uniones entre módulos del dispositivo (de 0° a 180°) hasta que el material se desgastara o se rompiera, además se expusieron a la intemperie para estudiar el daño causado por el calor del sol y la exposición al agua, los resultados se registraron en la tabla 22.

**Tabla 21:**

*Número de repeticiones para cada cinta*

	<b>Cinta Adhesiva</b>	<b>Adhesivo de tela</b>	<b>Vinilo transparente</b>
<b>Numero de repeticiones</b>	800	1973	1824

*Nota.* Esta tabla muestra el número de repeticiones que soportó cada material adhesivo al exponerlo a una prueba de fatiga.

Los resultados obtenidos muestran que los adhesivos más resistentes fueron los adhesivos de tela y vinilo, estos soportaron más de 1825 repeticiones que equivalen a abrir y cerrar el dispositivo por lo menos una vez al día durante 5 años. La cinta adhesiva queda completamente descartada por su bajo rendimiento. Para el diseño final se decide hacer uso del adhesivo de tela y el vinilo transparente, logrando así mantener un mejor acabado en su superficie reflectivo y reforzando sus uniones en la cara posterior del dispositivo. Como último punto en el proceso de verificación se hicieron mediciones de los niveles de lumen dentro de la habitación con y sin el dispositivo.

**Figura 100**

*Dispositivo para verificaciones*



La medición fue tomada con un luxómetro electrónico, primero se midió el nivel de lumen en la habitación, colocando el dispositivo en la posición de plegado más conveniente de acuerdo con las condiciones climáticas, la hora del día y la posición del edificio donde se hace la verificación, una vez obtenida la medida se cierra el dispositivo y se vuelve a tomar otra medición en ese instante con el fin de mantener constancia en las condiciones lumínicas.

**Figura 101**

*Toma de medida con luxómetro digital*



*Nota.* La imagen muestra dos resultados de la toma de la cantidad de lúmenes presentes en la habitación antes y después de hacer uso del dispositivo.

**Tabla 22***Resultado de las mediciones con luxómetro digital*

	<b>Sin dispositivo</b>	<b>Con dispositivo</b>	<b>Incremento</b>	<b>% Incremento</b>
<b>Lumen</b>	390	610	220	56%
	392	605	213	58%
	391	616	225	57%
	504	773	269	53%
	582	903	321	55%
	423	664	241	56%

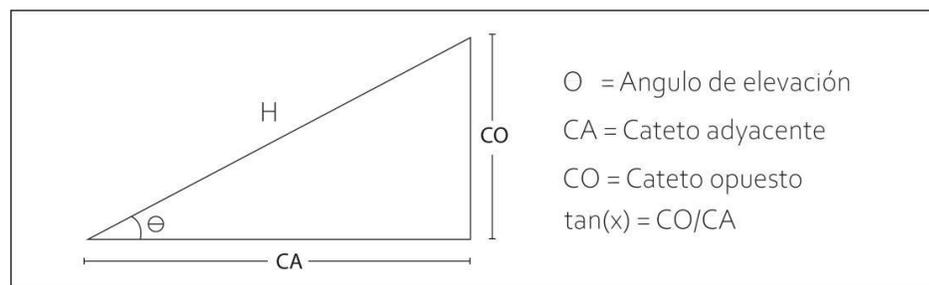
*Nota.* Esta tabla se muestran los resultados de las mediciones de la cantidad de lúmenes presentes en la habitación y su respectivo incremento cuando se hace uso del patrón de plegado desarrollado.

Como se puede observar en los resultados de las mediciones, aun cuando la cantidad de lumen al inicio y al final de la prueba varía, se demostró que el uso del dispositivo aumenta en más del 50% el nivel de iluminación dentro de la habitación.

Para verificar que el diseño de patrón y los ángulos formados por este al plegarse puede ser de utilidad para reflejar los rayos del sol, se construyó un modelo con las angulaciones correspondientes a la geometría solar vista en la ciudad de Bucaramanga. Se recreó la maqueta modelada con los datos de azimut y elevación (fig. 13), para esto se escogió un punto central y tomando ventaja de la simetría vista en la gráfica, se trazó los grados del azimut desde las 7 am a las 12 pm, acto seguido se posicionó una pantalla de cartón que ayudará a sostener la fuente de luz a la altura correcta.

**Figura 102***Maqueta de geometría solar*

La altura a la que se posicionó la fuente de luz se obtuvo utilizando trigonometría, se toma el ángulo de elevación junto con la distancia marcada desde el punto central a la base de la pared formada con la cartulina.

**Figura 103***Análisis trigonométrico*

*Nota.* Análisis trigonométrico utilizado para hallar las dimensiones necesarias para la construcción de la maqueta.

A partir de la ecuación se puede despejar el cateto opuesto multiplicando la distancia trazada en la base (CA) por la tangente del ángulo de elevación mostrado en el estudio de soleamiento de Bucaramanga, tal como se puede apreciar en la tabla 24.

**Tabla 23**

*Altura a la que se debe ubicar la fuente de luz (CO)*

<b>Hora</b>	<b>Elevación</b>	<b>CA</b>	<b>CO</b>
7:00:00	11,13°	33 cm	6,2 cm
8:00:00	24,5°	33 cm	14,6 cm
9:00:00	37,22°	33 cm	24,7 cm
10:00:00	48,66°	33,5 cm	37,1 cm
11:00:00	57,39°	35 cm	53,5 cm
12:00:00	60,86°	36 cm	61,2 cm

*Nota.* Esta tabla muestra las medidas utilizadas para la construcción de la maqueta para pruebas de reflexión.

Una vez ubicada la fuente de luz se debe alinear de tal manera que el haz de luz apunte directamente al centro de la maqueta, esto ayudará a simular la inclinación y movimiento del sol, según se puede apreciar desde la perspectiva de un bumangués.

Para iniciar con la verificación se debe contar con un módulo del prototipo, y además, se deben tener en cuenta dos consideraciones, primeramente que la luz del sol se puede representar como un haz de luz que posee un ángulo de inclinación en tres dimensiones; segundo, el haz de luz mantiene su mismo ángulo en cada uno de los módulos debido a la diferencia de tamaño entre el dispositivo y su fuente real de luz, haciendo que el comportamiento reflectivo mostrado por el haz de luz al chocar sobre uno de los módulos del dispositivo se repita en todos los módulos que sean iguales a él.

**Figura 104**

*Ubicación del módulo dentro de la maqueta.*



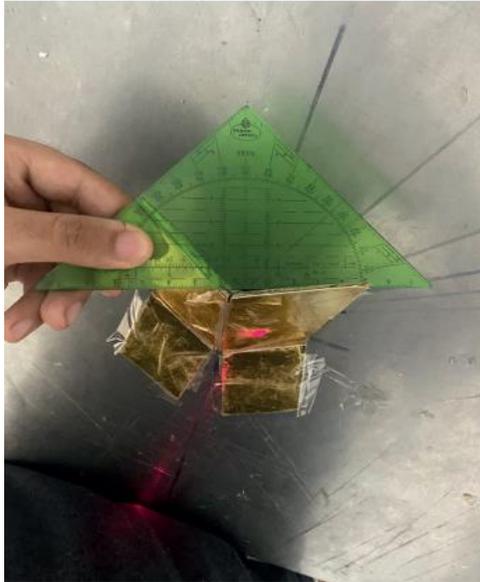
*Nota.* La imagen presenta el módulo abierto en el ángulo necesario para redirigir la luz del puntero laser hacia la cámara.

El módulo se debe ubicar de acuerdo con la orientación que pueda tener la edificación en donde se va a utilizar el dispositivo, luego debe plegarse y desplegarse hasta encontrar un ángulo de apertura que permita redirigir la luz proveniente de láser hacia la posición en donde debe estar la ventana.

Con el módulo ubicado en la respectiva posición de reflexión para cada posición del láser se debe medir en ángulo de apertura entre las dos piezas plegadas como se ve en la figura 106, dichos datos se recopilan en una tabla, la cual nos indica que el diseño del patrón de plegado puede adaptarse a los ángulos de azimut y elevación del sol, además de que existe un ángulo de apertura entre módulos idóneo para cada hora del día, cumpliendo con su objetivo de redireccionar la luz dentro de la vivienda.

**Figura 105**

*Ubicación del módulo dentro de la maqueta*

**Tabla 24**

*Angulo de apertura de acuerdo según la hora del día y posición del sol.*

Hora	Elevación	Azimut	Apertura
7:00:00	11.13°	114.22°	70°
8:00:00	24.5°	118.21°	86°
9:00:00	37.22°	124.4°	110°
10:00:00	48.66°	135.59°	127°
11:00:00	57.39°	153.72°	150°
12:00:00	60.86°	180.15	180°

*Nota.* Esta tabla muestra el ángulo de apertura entre módulos del dispositivo respecto al ángulo de elevación y azimut.

Cabe aclarar que el dispositivo funciona mejor cuando se implementa en edificaciones orientadas para aprovechar al máximo la luz solar, pero esto no significa que el dispositivo no cumpla con su objetivo si este se encuentra orientado de forma diferente.

**Figura 106**

*Reflexión de la luz sobre un módulo con cambio de orientación*



Como se puede ver en la imagen, aun cuando se cambia la orientación del dispositivo este puede encontrar un ángulo de plegado que redirija la luz a la posición en donde está la ventana respecto al dispositivo.

## 14.2. Protocolo de Validación

**Tabla 25**

*Requerimientos por evaluar en protocolo de validación.*

<b>Tipo</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Instrumento</b>
uso	Accionamiento del dispositivo	Escala Likert
Estética	Peso visual	Escala Likert
Funcional	Percepción de cambio de iluminación/ escala de Likert	Escala Likert
Funcional	Nivel de control lumínico en interiores con el uso del dispositivo	Luxómetro digital
Funcional	presencia de puntos de deslumbramiento al usar el dispositivo	Luxómetro digital

Nota. Esta tabla muestra los requerimientos a evaluar en el proceso de validación junto con el valor respuesta aceptado y el instrumento de medida.

Producto sometido a evaluación: Dispositivo de control solar basado en plegado

#### ***14.2.1. Justificación***

Para validar que el dispositivo cumple con lo planteado durante todo el proceso de diseño se debe exponer ante un público controlado con tal de conocer si este puede cumplir con su objetivo principal al ser usado por un usuario, este ejercicio de validación de producto puede dar información importante sobre la comunicación de dicho producto, así como la percepción de los usuarios al utilizarlo.

#### ***14.2.2. Objetivos***

Validar la funcionalidad del dispositivo plegable de control solar y su capacidad para regular los niveles de iluminación natural en espacios interiores para la ejecución de tareas con requerimientos visuales medianos en edificaciones de estratos 3 y 4 de la ciudad de Bucaramanga.

#### ***14.2.3. Parafernalia***

Elementos de medición: Encuesta, luxómetro digital, Escala Likert

Elementos de prueba: prototipo funcional.

Elementos de recolección de datos: computador, tablas de Excel

#### ***14.2.4. Grupo de la muestra***

Se seleccionaron 30 habitantes del edificio La Hispana, ubicado en la cra 23 # 7 – 24, estrato 4, entre los participantes están amas de casa, universitarios, niños de secundaria, personas que trabajan desde el hogar.

#### ***14.2.5. Actividades***

Se inicia al medir la cantidad de iluminación dentro de la habitación en donde se instaló el dispositivo, esta primera medida debe tomarse con el dispositivo completamente plegado, se

medirá la cantidad de lumen a 1 metro, dos metros y tres metros desde la ventana, estas medidas se tomarán antes de hacer la validación con cada participante y se recopilarán los datos en una tabla de Excel. A cada participante se le pedirá que accione el dispositivo, para esto se le dará una explicación del modelo de uso, el cual consiste en bajar el marco metálico y tirar la agarradera hacia él, esto permite desplegar el dispositivo, una vez hecho esto, el usuario deberá ajustar los ángulos de reflexión, empujando o tirando la manija de tal forma que este se pliegue hasta encontrar el punto de iluminación que este considere correcto. Una vez se haya ajustado el dispositivo, se retoman las medidas con el luxómetro para registrar el cambio de iluminación, esto con el fin de corroborar que hay un cambio significativo en el nivel de iluminación. Luego se pide al usuario que realice tareas de requerimientos lumínicos medianos tales como actividades de oficina leer o escribir por 10 minutos, una vez terminan los 10 minutos se pliega el dispositivo y se procede a hacer una pequeña encuesta al usuario participante, donde se le pregunta por medio de una escala Likert, si nota un cambio en la iluminación natural al estar en la habitación con y sin el dispositivo accionado, si nota deslumbramientos o si considera que la iluminación en la habitación es suficiente para realizar dicha tarea cómodamente, y si su accionamiento fue sencillo y seguro de realizar. Las respuestas de los usuarios se tabularán en Excel para el tratamiento de datos y se compararán con los resultados de la medición del luxómetro para obtener las conclusiones.

#### ***14.2.6. Resultados de las validaciones***

**14.2.6.1. Resultado de la encuesta de satisfacción.** Para interpretar los resultados de la encuesta de validación presentados en la tabla 27, se clasifica cada uno de los datos en una escala de calificación de acuerdo con el resultado obtenido por parte del participante, tal que: muy en desacuerdo (0-2); desacuerdo (2.1-4); neutral (4.1-6); de acuerdo (6.1-8) y muy de acuerdo (8.1-

10). Como análisis general a los promedios obtenidos luego de tabular los resultados de la tabla 27, se obtuvo una respuesta promedio de 7.7 en la escala Likert al preguntar si hay o no un cambio perceptible en la iluminación, junto con un 8.4 en facilidad de uso, lo que indica que no solo el dispositivo es percibido como fácil de usar, sino que también cumple con su funcionalidad de iluminar el interior de la habitación. También se indaga acerca la percepción de seguridad del usuario al manipular el dispositivo debido a la altura a la que este se encuentra instalado, en la cual se obtuvo un promedio respuesta del 8.6 lo que indica que para el usuario el dispositivo está instalado de una forma que no representa riesgo. Por último, se indaga sobre la estética del dispositivo, que tuvo una buena aceptación con un promedio respuesta de 8.9 y también, sobre la estética del dispositivo una vez se encuentra instalado en la fachada, teniendo una respuesta promedio de 8.3.

**Tabla 26**

*Resultados de la encuesta de validación*

Usuario	Cambio en la iluminación natural	Facilidad de uso/ Accionamiento	Estética al instalarlo	Percepción de seguridad	Percepción de deslumbramientos	Diseño del Dispositivo
1	7	8	1	9	8	9
2	5	9	2	9	8	9
3	6	9	2	8	9	10
4	8	8	2	9	8	10
5	8	9	1	8	8	9
6	7	10	1	9	9	8
7	6	7	3	9	6	9
8	8	10	1	7	9	9
9	8	10	2	10	8	8
10	9	9	2	9	8	10
11	7	8	2	8	8	8
12	8	8	1	9	9	8
13	9	8	1	9	9	9
14	9	8	1	9	9	9
15	6	8	1	8	9	9

Usuario	Cambio en la iluminación natural	Facilidad de uso/ Accionamiento	Estética al instalarlo	Percepción de seguridad	Percepción de deslumbramientos	Diseño del Dispositivo
16	6	8	1	7	7	10
17	8	9	2	8	8	9
18	9	9	1	10	8	9
19	8	9	1	9	9	8
20	8	9	1	9	8	9
21	7	8	1	9	8	9
22	9	8	1	9	8	9
23	9	8	1	8	7	8
24	9	8	1	9	8	8
25	8	8	1	10	8	10
26	7	7	1	9	6	8
27	8	8	2	9	9	9
28	9	7	1	7	9	9
29	8	9	1	8	7	9
30	8	9	2	8	8	9
TOTAL	232	253	41	259	243	267
PROMEDIO	7,7	8,4	1,4	8,6	8,1	8,9
%	77,3	84,3	13,7	86,3	81	89

Nota. Esta tabla muestra los resultados obtenidos de la prueba de validación.

**Tabla 27**

*Resultados aumento en la iluminación*

Aumento en la iluminación natural			
Escala de calificación	Rango	# de participantes	Promedio
Muy de acuerdo	8.1 a 10	8	26.7
De acuerdo	6.1 a 8	17	56.7
Neutral	4.1 a 6	5	16.7
Desacuerdo	2.1 a 4	0	0.0
Muy en desacuerdo	0 a 2	0	0.0
Total		30	100

Nota. Esta tabla muestra el número de participantes clasificados de acuerdo con su respuesta relacionada con la percepción de cambio de iluminación al hacer uso del dispositivo.

Los usuarios manifestaron que lograban percibir el cambio de iluminación donde aumentaba con el uso del dispositivo, esta tabla muestra que el 26% de los encuestados estuvieron de acuerdo y el 56.7% muy de acuerdo en que hay un aumento perceptible en la iluminación, como se puede evidenciar en la tabla 28.

**Tabla 28**

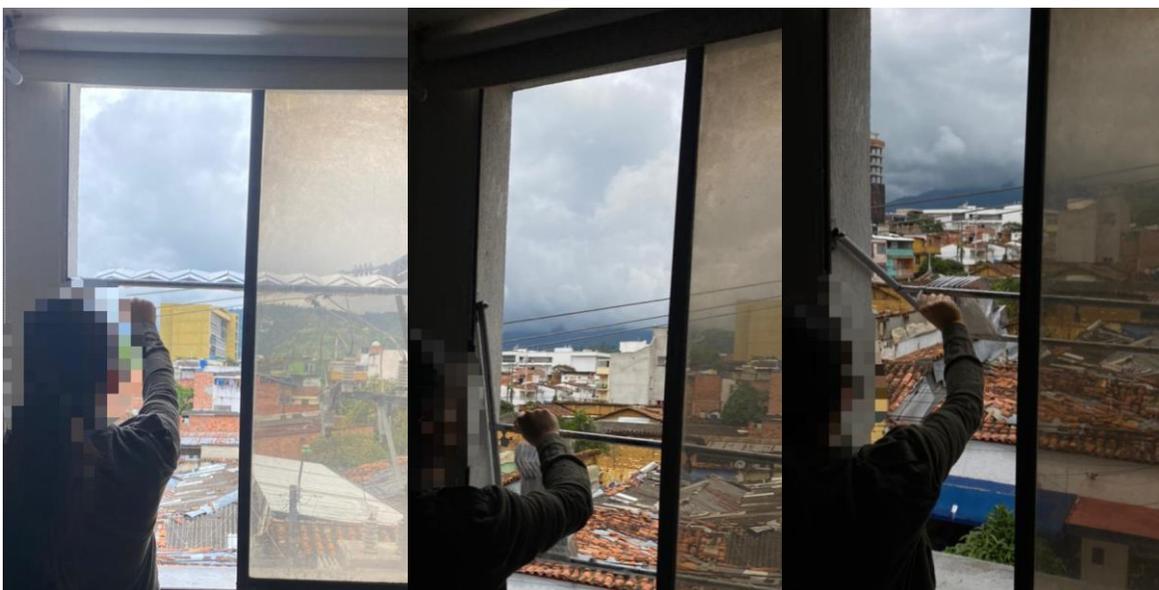
*Resultados facilidad de uso*

Facilidad de uso/ Accionamiento			
Escala de calificación	Rango	# de participantes	Promedio
Muy de acuerdo	8.1 a 10	13	43.3
De acuerdo	6.1 a 8	17	56.7
Neutral	4.1 a 6	0	0.0
Desacuerdo	2.1 a 4	0	0.0
Muy en desacuerdo	0 a 2	0	0.0
Total		30	100

*Nota.* Esta tabla muestra el número de participantes clasificados de acuerdo con su respuesta relacionada con la percepción de facilidad de uso o accionamiento del dispositivo.

**Figura 107**

*Usuario accionando el dispositivo*



La encuesta permitió indagar también acerca de la facilidad con la que el usuario hace uso del dispositivo, dando como resultado que el 43% de los participantes estuvieron muy de acuerdo en que el dispositivo es de fácil de usar/accionar, y el 56% de los participantes estuvieron de acuerdo en que es fácil de usar, como se puede evidenciar en la tabla 29.

En general, los usuarios expresaron que pudieron entender el funcionamiento del dispositivo e indicaron que es un dispositivo fácil de accionar por el hecho de que se extiende en dos direcciones con un solo movimiento, sin embargo, los usuarios expresaron que durante la acción de plegarlo y desplegarlo repetidamente se presentaron algunas fallas menores relacionadas con la fricción de la barra móvil del prototipo.

**Tabla 29**

*Resultado percepción de estética*

Percepción de estética dispositivo instalado			
Escala de calificación	Rango	# de participantes	Promedio
Muy de acuerdo	8.1 a 10	12	40.0
De acuerdo	6.1 a 8	18	60.0
Neutral	4.1 a 6	0	0.0
Desacuerdo	2.1 a 4	0	0.0
Muy en desacuerdo	0 a 2	0	0.0
Total		30	100

*Nota.* Esta tabla muestra el número de participantes clasificados de acuerdo con su respuesta relacionada con la percepción del dispositivo en relación con la fachada del edificio.

También se indagó sobre la estética del producto con relación a la fachada del edificio, 40% de los usuarios están muy de acuerdo y el 60% de acuerdo, en que el dispositivo no representa un aspecto negativo para la fachada, por el contrario, manifestaron que una vez abierto agrega valor estético a este, como se puede evidenciar en la tabla 30.

**Tabla 30***Resultado percepción de seguridad*

Percepción de seguridad			
Escala de calificación	Rango	# de participantes	Promedio
Muy de acuerdo	8.1 a 10	19	63.3
De acuerdo	6.1 a 8	11	36.7
Neutral	4.1 a 6	0	0.0
Desacuerdo	2.1 a 4	0	0.0
Muy en desacuerdo	0 a 2	0	0.0
Total		30	100

*Nota.* Esta tabla muestra el número de participantes clasificados de acuerdo con su respuesta relacionada con la percepción de seguridad al manipular el dispositivo.

Acerca de la percepción de seguridad al momento de usar el dispositivo, en promedio el 63.3% manifestaron estar muy de acuerdo y el 36.7 % de acuerdo en que el dispositivo era seguro de accionar, como se puede evidenciar en la tabla 31.

**Tabla 31***Resultado percepción diseño del dispositivo*

Percepción de estética del dispositivo			
Escala de calificación	Rango	# de participantes	Promedio
Muy de acuerdo	8.1 a 10	22	73.3
De acuerdo	6.1 a 8	8	26.7
Neutral	4.1 a 6	0	0.0
Desacuerdo	2.1 a 4	0	0.0
Muy en desacuerdo	0 a 2	0	0.0
Total		30	100

*Nota.* Esta tabla muestra el número de participantes clasificados de acuerdo con su respuesta relacionada con la percepción estética del diseño del dispositivo.

Con respecto al diseño del dispositivo el 73.3% de los encuestados estuvieron muy de acuerdo en que el diseño del dispositivo era visualmente agradable, incluso asociaron el

dispositivo con algo futurista que atraía y causaba bastante interés, como se puede evidenciar en la tabla 32

Los resultados de la toma de medidas con luxómetro digital se pueden ver a continuación.

### Figura 108

*Toma de medida con luxómetro digital sin dispositivo*



*Nota.* La figura muestra los resultados obtenidos al medir los lúmenes en la habitación antes de usar el dispositivo.

### Figura 109

*Toma de medida con luxómetro digital con dispositivo*



*Nota.* La figura muestra los resultados obtenidos al medir los lúmenes en la habitación al usar el dispositivo.

**Tabla 32***Toma de medida con luxómetro a tres distancias diferentes*

Participante	Medida sin dispositivo			Medida con dispositivo		
	1 metro	2 metro	3 metro	1 metro	2 metro	3 metro
1	470	450	430	726	705	686
2	410	388	370	705	682	664
3	463	442	424	759	735	718
4	460	442	418	710	690	673
5	486	466	445	840	795	772
6	462	442	422	720	702	688
7	415	398	374	698	668	655
8	468	445	425	750	691	688
9	469	449	432	698	679	657
10	469	450	427	796	772	754
11	476	454	432	735	716	706
12	469	441	428	741	724	701
13	483	462	441	849	830	808
14	475	458	438	688	766	638
15	430	452	431	819	799	781
16	449	431	411	824	805	780
17	468	440	425	689	669	651
18	455	434	416	720	716	659
19	439	421	400	698	675	652
20	470	449	428	759	737	721
21	430	415	491	730	710	692
22	465	444	423	816	792	774
23	463	443	423	730	717	689
24	458	442	416	761	729	705
25	459	437	418	780	769	736
26	461	440	421	740	722	699
27	443	424	402	780	761	742
28	439	417	498	789	769	746
29	449	428	403	791	774	751
30	457	435	416	641	612	603

*Nota.* Esta tabla muestra las medidas de lúmenes tomadas con un luxómetro a tres distancias del dispositivo.

**Tabla 33***Incremento de lúmenes en la habitación con dispositivo accionado*

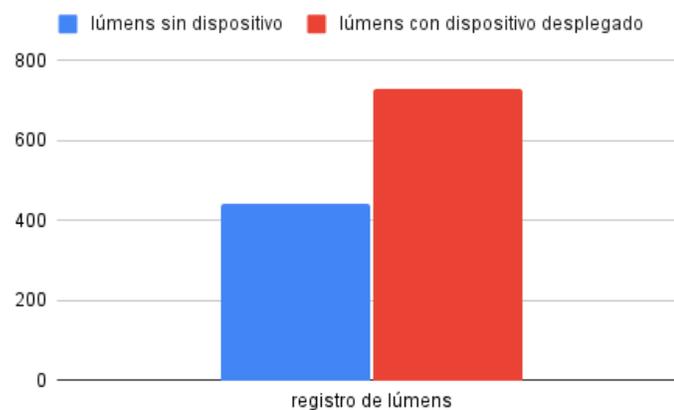
Participante	Medida sin dispositivo	Medida con dispositivo	Incremento	% Incremento
	Promedio	Promedio		
1	450	706	256	57
2	389	684	294	76
3	443	737	294	66
4	440	691	251	57
5	466	802	337	72
6	442	703	261	59
7	396	674	278	70
8	446	710	264	59
9	450	678	228	51
10	449	774	325	73
11	454	719	265	58
12	446	722	276	62
13	462	829	367	79
14	457	697	240	53
15	438	800	362	83
16	430	803	373	87
17	444	670	225	51
18	435	698	263	61
19	420	675	255	61
20	449	739	290	65
21	445	711	265	60
22	444	794	350	79
23	443	712	269	61
24	439	732	293	67
25	438	762	324	74
26	441	720	280	63
27	423	761	338	80
28	451	768	317	70
29	427	772	345	81
30	436	619	183	42
Promedio	440	729	289	66

*Nota.* Esta tabla se muestran los resultados de las mediciones de la cantidad de lúmenes presentes en la habitación y su respectivo incremento cuando se hace uso del patrón de plegado desarrollado.

Como resultado de las medidas expuestas en la tabla 34, se logra evidenciar que el promedio del incremento en la iluminación al usar el dispositivo fue del 66%, este incremento se ilustra en la figura 110 donde se compara la cantidad de lúmenes registrada por el luxómetro con el dispositivo plegado y desplegado. Logrando así aumentar la iluminación sobre el punto de lúmenes recomendados para hacer actividades de requerimientos visuales medianos, como lo son las tareas de oficina, leer o escribir.

### Figura 110

*Nivel de lúmenes en la habitación con y sin el dispositivo.*



En todas las tomas de datos se registró un aumento en la iluminación superior al 40% como se puede ver en la tabla 34, es pertinente también aclarar que los cambios en la iluminación, así como su porcentaje de incremento varían pues estos dependen de la intensidad lumínica del sol y de la bóveda celeste al igual que de las condiciones climáticas al momento de la toma de datos.

Al analizar los resultados obtenidos de las verificaciones y validaciones podemos concluir que el dispositivo tuvo una buena aceptación por parte los habitantes del edificio la hispana, ubicado sobre la carrera 23 con calle 7 ya que la gran mayoría de los encuestados

afirman notar un aumento en el nivel de iluminación de la habitación, dichos datos fueron corroborados con las muestras tomadas con el luxómetro.

Las características que posee el dispositivo al ser un patrón de plegado rígido facilitan el uso de este pues los usuarios son capaces de accionarlo con tan solo un movimiento, al aplicar una fuerza sobre cualquier parte del patrón este tiene la capacidad de plegarse o desplegarse, cambiando sus dimensiones a lo largo y ancho y logrando una reducción de espacio del 85% al plegarse completamente.

## 15. Conclusiones

A través del estudio e implementación de las técnicas de plegado, con base en el patrón de Miura, se logró diseñar un dispositivo de captación y redireccionamiento de los rayos solares, logrando un aumento del nivel de iluminación hasta un 66%, para la ejecución de tareas con requerimientos visuales medianos tales como leer y escribir, en el interior de edificaciones de estratos 3 y 4 en la ciudad de Bucaramanga.

El dispositivo cumple su función independientemente de la dirección en la que los rayos lumínicos provengan, pues los ángulos formados en el dispositivo plegable permiten redireccionar la luz en todas las direcciones.

Por medido de la metodología del design thinking planteada en el documento se pudo llevar a cabo exitosamente cada uno de los pasos que componen el proyecto, desde el estudio y análisis de iluminación natural, la definición de los parámetros y requerimientos del producto, la ideación y desarrollo de posibles soluciones, hasta la fabricación y testing de un prototipo funcional y el respectivo análisis de los resultados obtenidos.

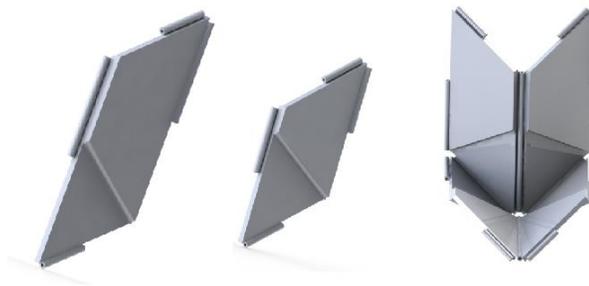
## 16. Recomendaciones

Debido a que el dispositivo refleja la luz proveniente del sol y de la bóveda celeste, se recomienda usar el dispositivo en edificaciones con una orientación adecuada, de tal forma que aproveche al máximo los rayos directos del sol.

El prototipo funcional que se logró fabricar es susceptible a ser mejorado, por esta razón se realiza un análisis de procesos de manufactura, En primer lugar los módulos construidos a partir de dos piezas se pueden remplazar por una sola pieza escalonada (figura 111) fabricada a partir de un molde de inyección, el material acrílico podría ser remplazado entonces por el ABS, que puede adquirir resistencia UV mediante el uso de aditivos, como estabilizadores UV, colorante negro de carbón o con un revestimiento protector metalizado en su superficie, que a su vez puede ser usado como superficie reflectiva.

### Figura 111

*Módulos para inyección*

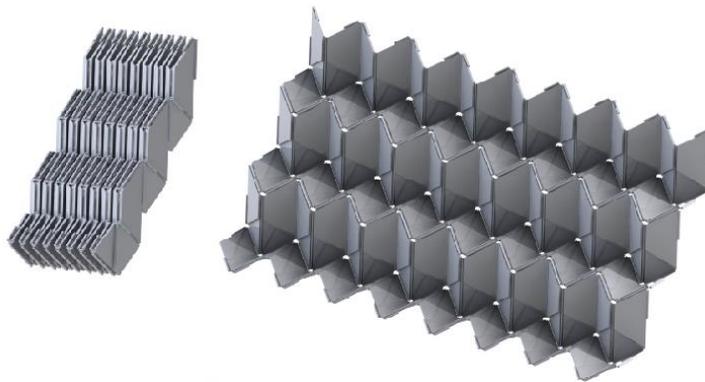


El sistema de unión puede ser reemplazado por un sistema de bisagra entre las piezas, que puede ser incluido dentro del mismo moldeado por inyección. Facilitando no solo su fabricación sino también cortando el tiempo de ensamble del dispositivo.

Al tener piezas completamente modulares que encajan entre sí, se puede generar un patrón de plegado como el mostrado en la figura 112, cuyas dimensiones se pueden modificar agregando o quitando módulos para adaptarlo a las dimensiones de cualquier ventana. Este patrón de plegado puede instalarse por medio de las agarraderas ya antes diseñadas al marco o soporte.

### **Figura 112**

*Patrón de plegado modificado*



Basado en lo visto en las validaciones, también se recomienda cambiar los materiales con los que se fabrica el soporte haciendo énfasis en la barra deslizadora, ya que se hizo uso de materiales como el acero el cual debido a su coeficiente de expansión, aumenta su volumen y sus medidas al exponerse a las altas temperaturas causadas por la radiación del sol, por lo que hace que las abrazaderas de la barra deslizadora aumente la fricción al estar en contacto con el marco, dificultando su movimiento. Para este inconveniente también se puede pensar en hacer abrazaderas de tolerancias y dimensiones mayores, es decir hacer en lo posible que las abrazaderas de la barra no queden muy justas al marco para que cuando el material se contraiga al cambiar la temperatura no aumente su fricción y dificulte su accionamiento.

### Referencias

- Mondelo, P., Gregori, E., González, Ó., & Gómez, M. (2013). *Ergonomía 4: El trabajo en oficinas*. Barcelona: Ediciones de la UPC.
- Tregenza, P., & Wilson, M. (2013). *Daylighting: architecture and lighting design*. Routledge.
- Isabel Crespo Cabillo, R. M. (2013). *Control solar e iluminación natural en la Arquitectura*. Barcelona.
- Fuentes, D. A. (2007). *Arquitectura Bioclimática*. En D. A. Fuentes.
- Instituto para la diversificación y ahorro de energía. (2005). *Guía Técnica de aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Madrid.
- Jiménez Aljure, J. A. (2016). *Diseño de un seguidor solar automático para un arreglo básico de paneles fotovoltaicos* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Lacomba, R., Ferreiro, H., Fuentes, V., García, J., & Gutiérrez, S. (1991). *Manual de arquitectura solar*. México: Editorial Trillas.
- Ministerio de trabajo de asuntos sociales. (s.f.). NTP 211: *Iluminación de los centros de trabajo*. España.
- Miñarro Yanini, Margarita. (2021). *Innovación tecnológica, organización del trabajo y sostenibilidad ambiental: ¿Es el teletrabajo una forma de empleo verde?* *Revista de Trabajo y seguridad social*. CEF, 454, 5-16
- Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). *The benefits of daylight through windows*. Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute.
- Icontec, I. C. (1994). *Guía Técnica Colombiana, GTC 8. Electrotecnia. Principios de ergonomía visual. Iluminación para ambientes de trabajo en espacios cerrados*.
- Tachi, T. (2011). Rigid-foldable thick origami. *Origami*, 5, 253-264.

Tachi, T. (2010, November). Geometric considerations for the design of rigid origami structures.

*In Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)*

*Symposium* (Vol. 12, No. 10, pp. 458-460). Elsevier Ltd.

## Apéndices

## Apéndices A. Encuesta para validación de dispositivo

Figura 113

*Formato de encuesta para los participantes*

¿Percibe un aumento de iluminación natural en la habitación al accionar el dispositivo?

Muy en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muy de acuerdo

¿Considera que el dispositivo es fácil de usar/accionar?

Muy en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muy de acuerdo

¿Considera que la instalación del dispositivo en la ventana no afecta la estética del edificio?

Muy en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muy de acuerdo

¿Considera que el soporte metálico del dispositivo es seguro?

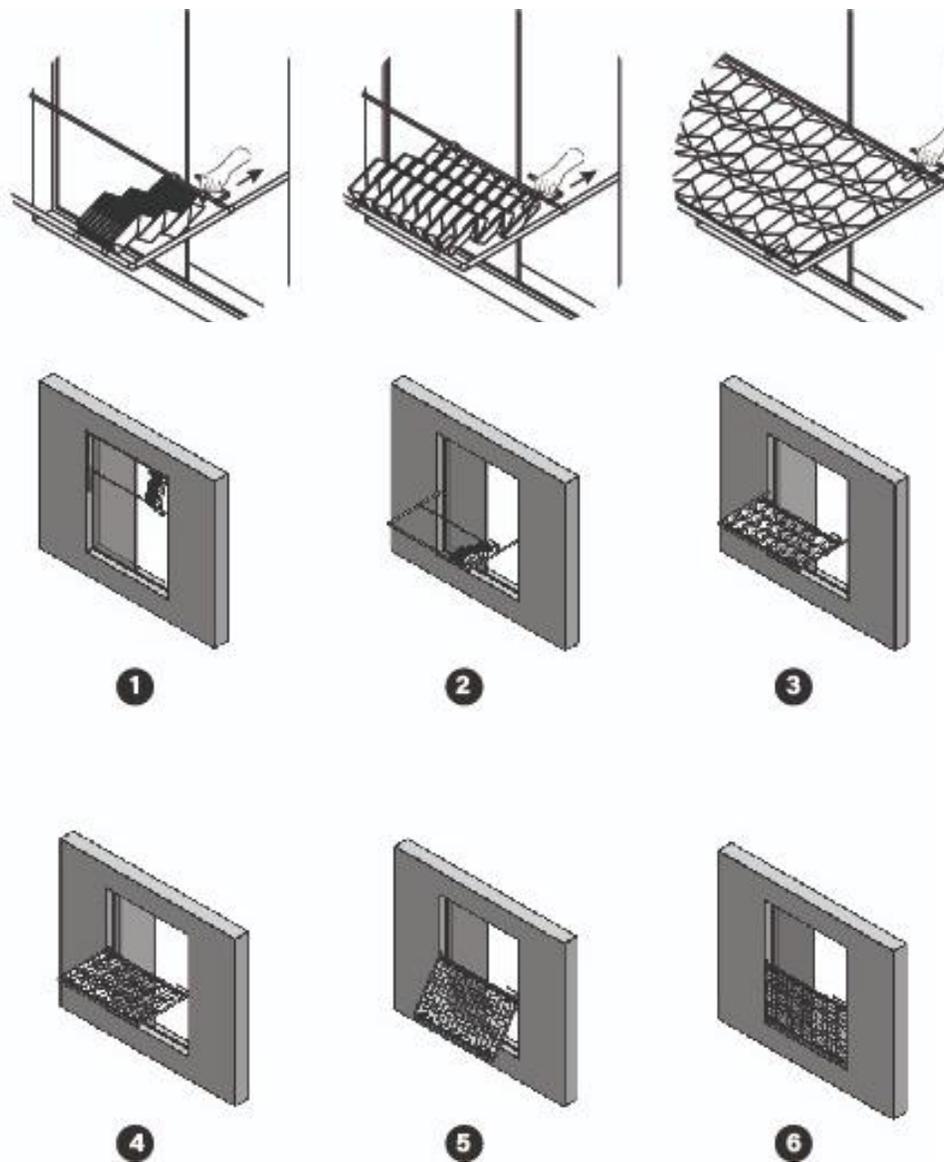
Muy en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muy de acuerdo

¿Le agrada visualmente el diseño del dispositivo?

Muy en desacuerdo 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muy de acuerdo

## Apéndices B. Diagrama de modelo de uso

Figura 114

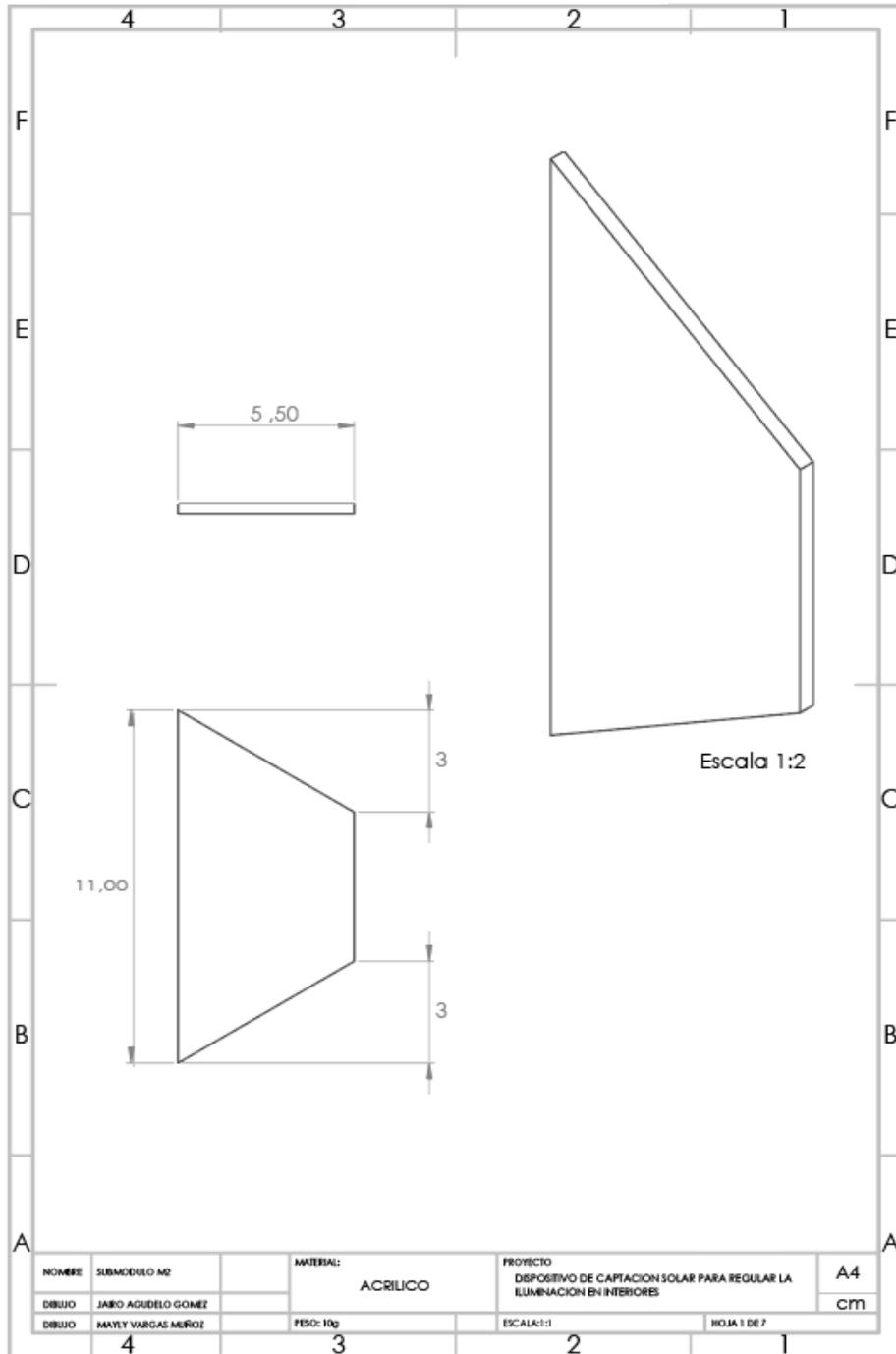
*Modelo de uso*

Para accionar el dispositivo el usuario debe alinear el marco en posición horizontal y tirar hacia el haciendo uso de la agarradera metálica hasta desplegarlo, de forma tal que las caras del dispositivo estén alineadas para reflejar la luz del sol al interior de la habitación.

Apéndices C. Planos técnicos

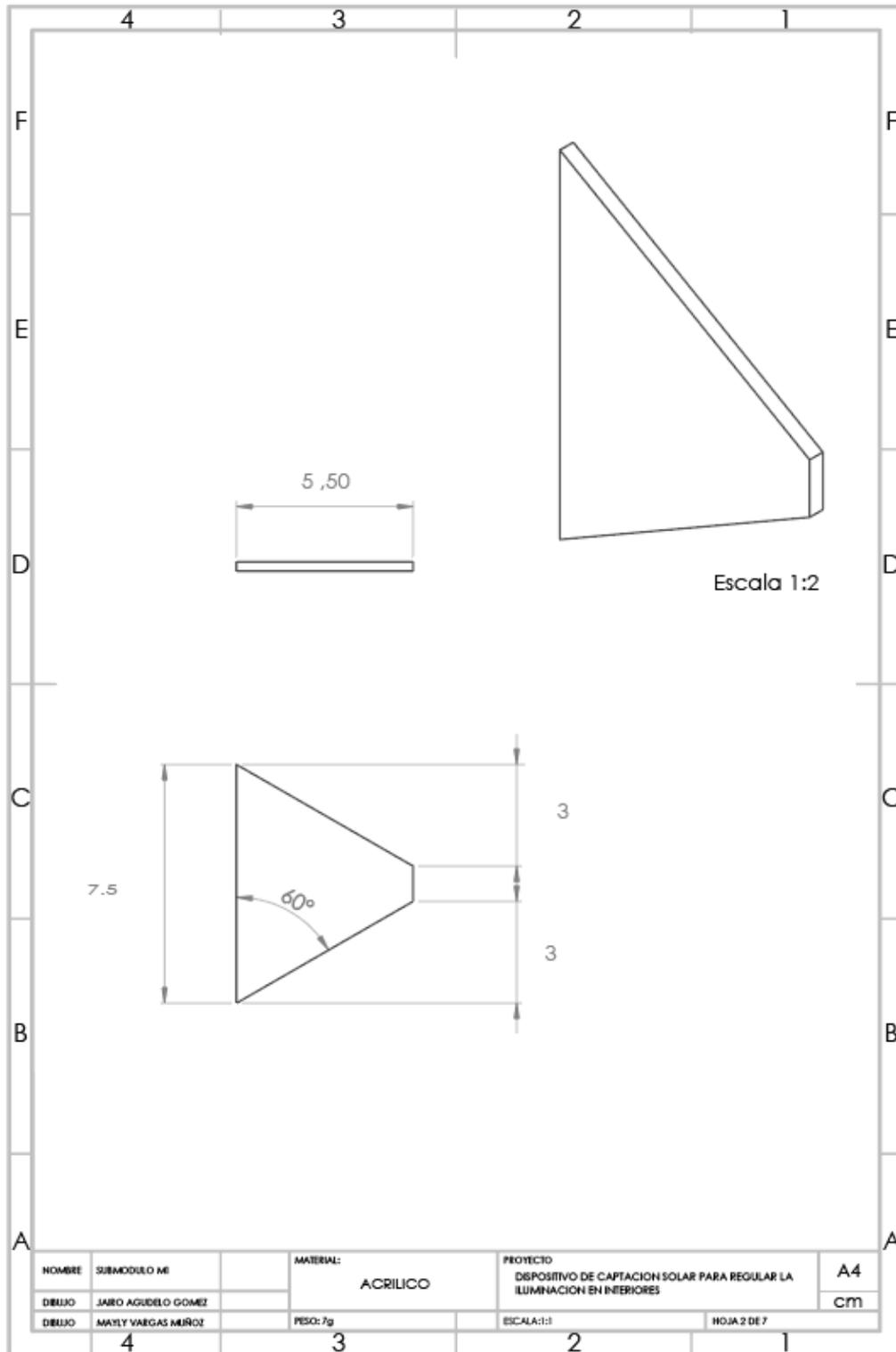
Figura 115

Planos submódulo 1



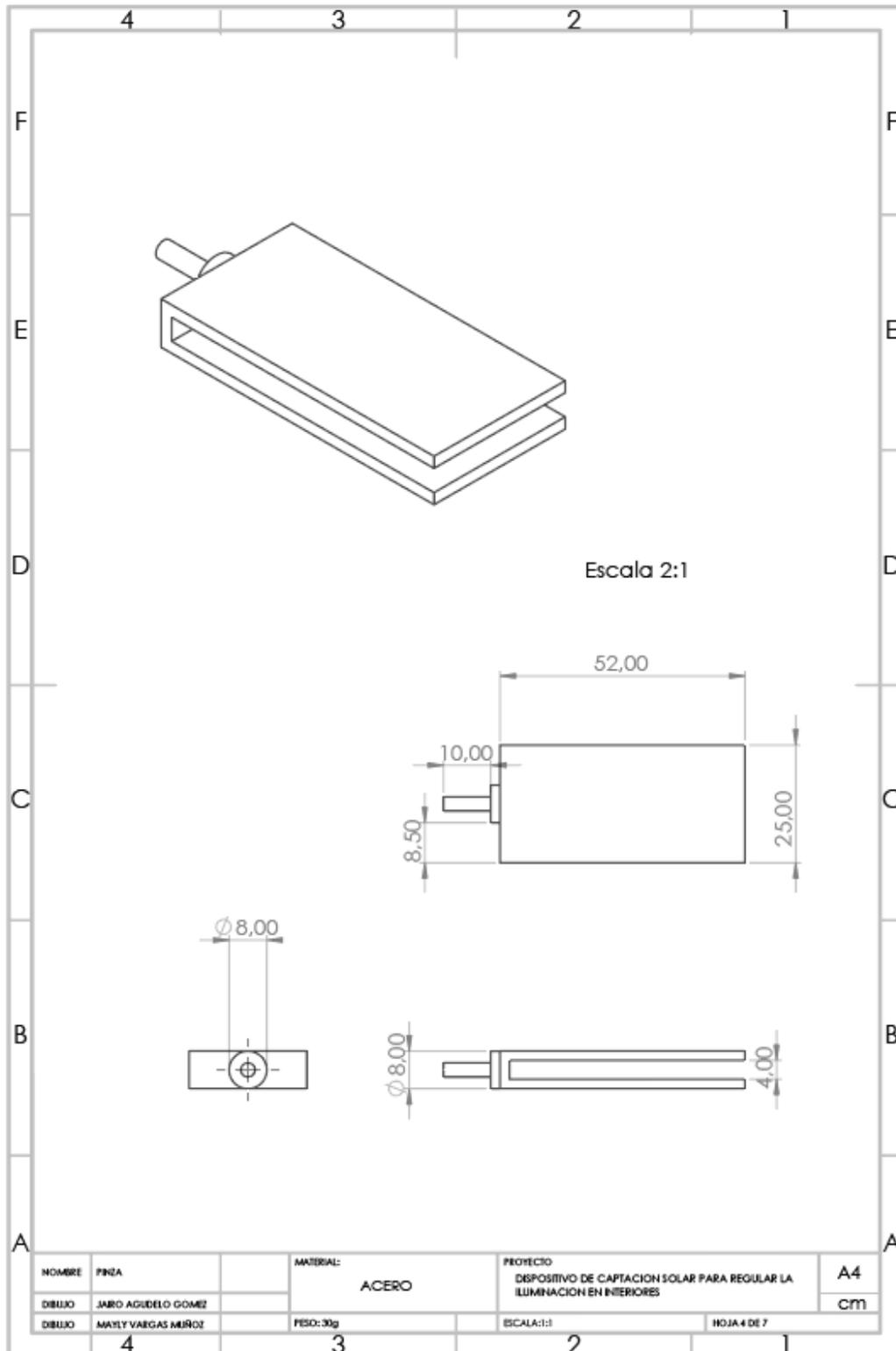
**Figura 116**

*Planos submódulo 2*



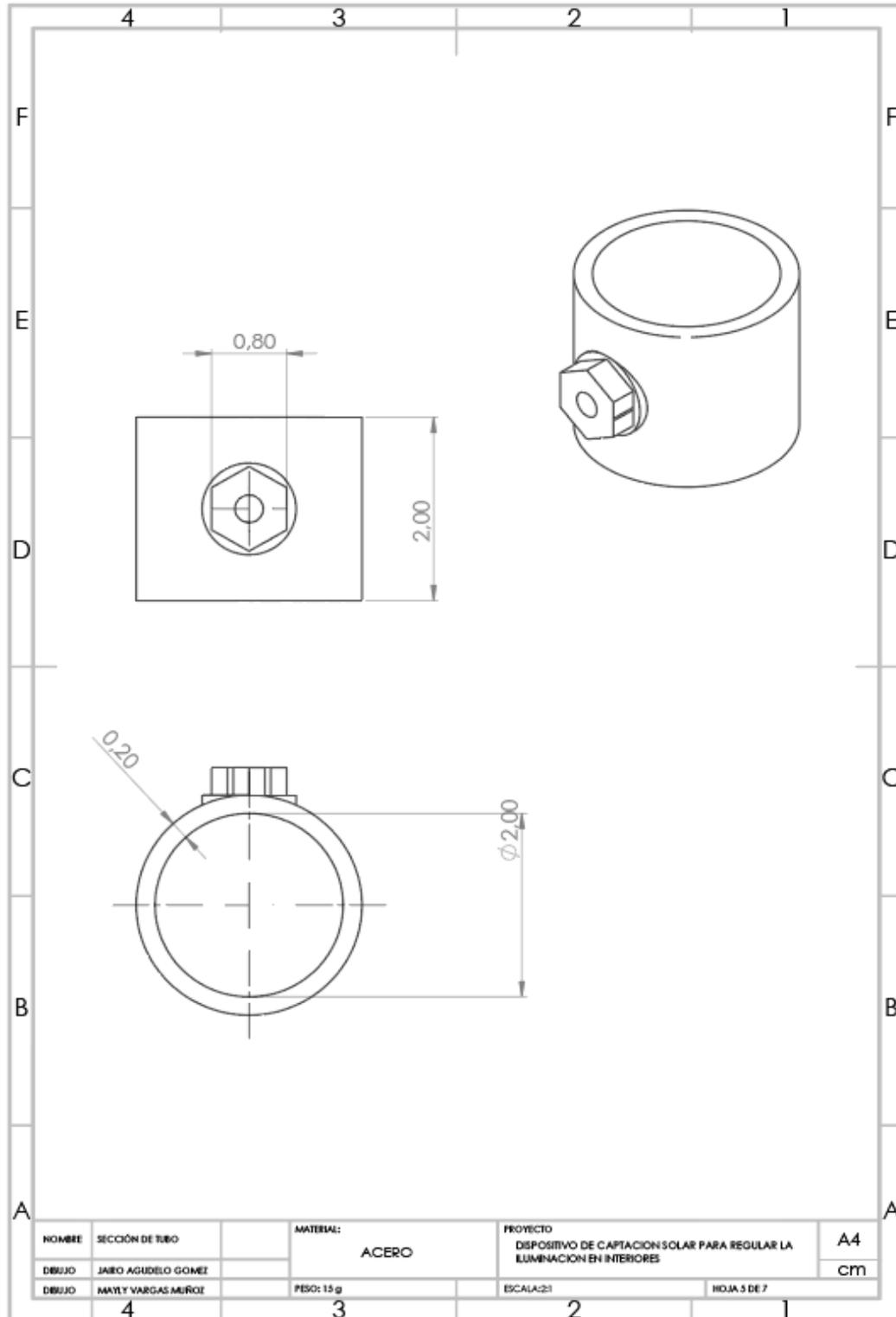
**Figura 117**

*Planos agarradera del soporte*



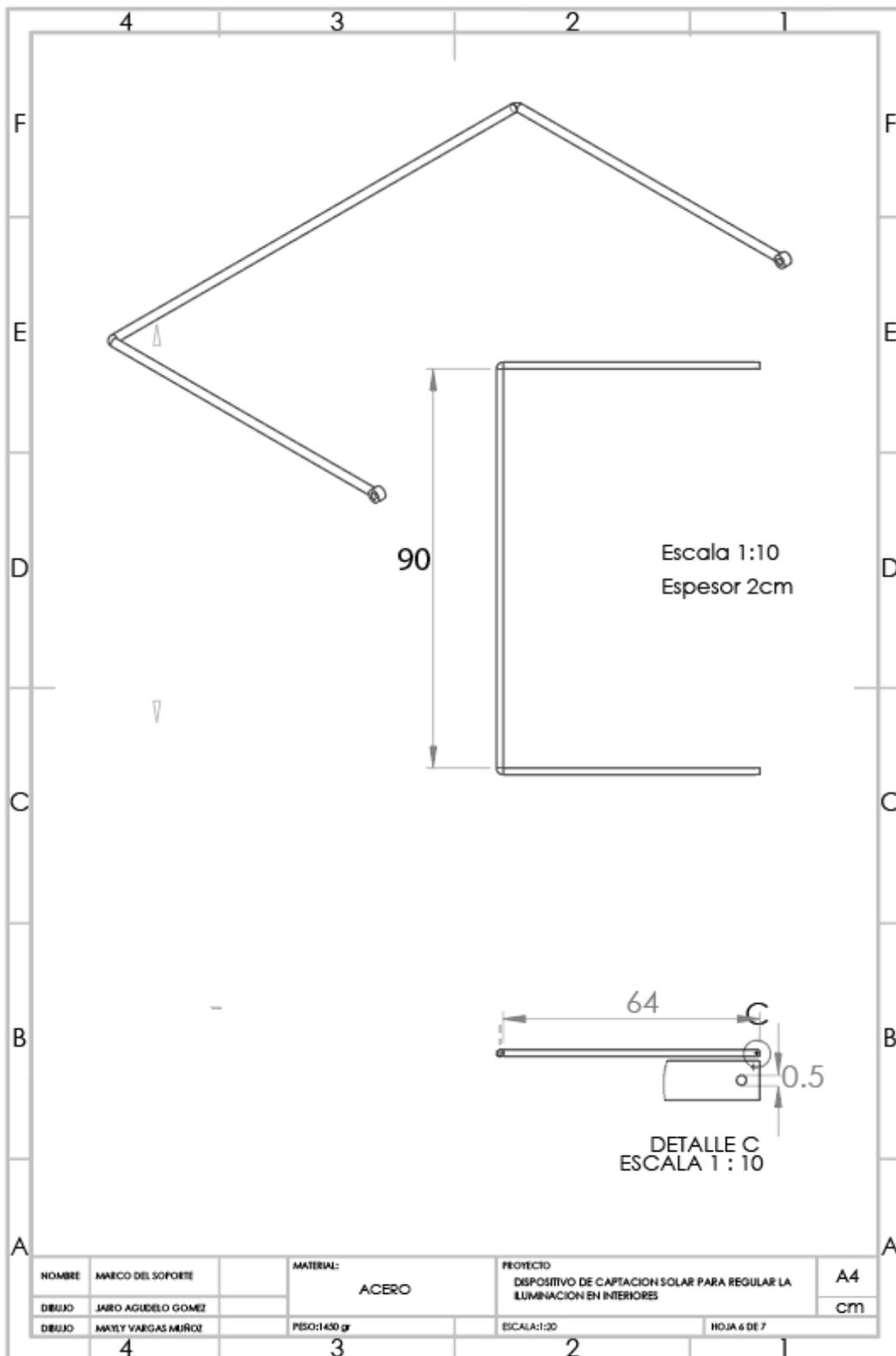
**Figura 118**

*Planos Abrazadera del soporte*



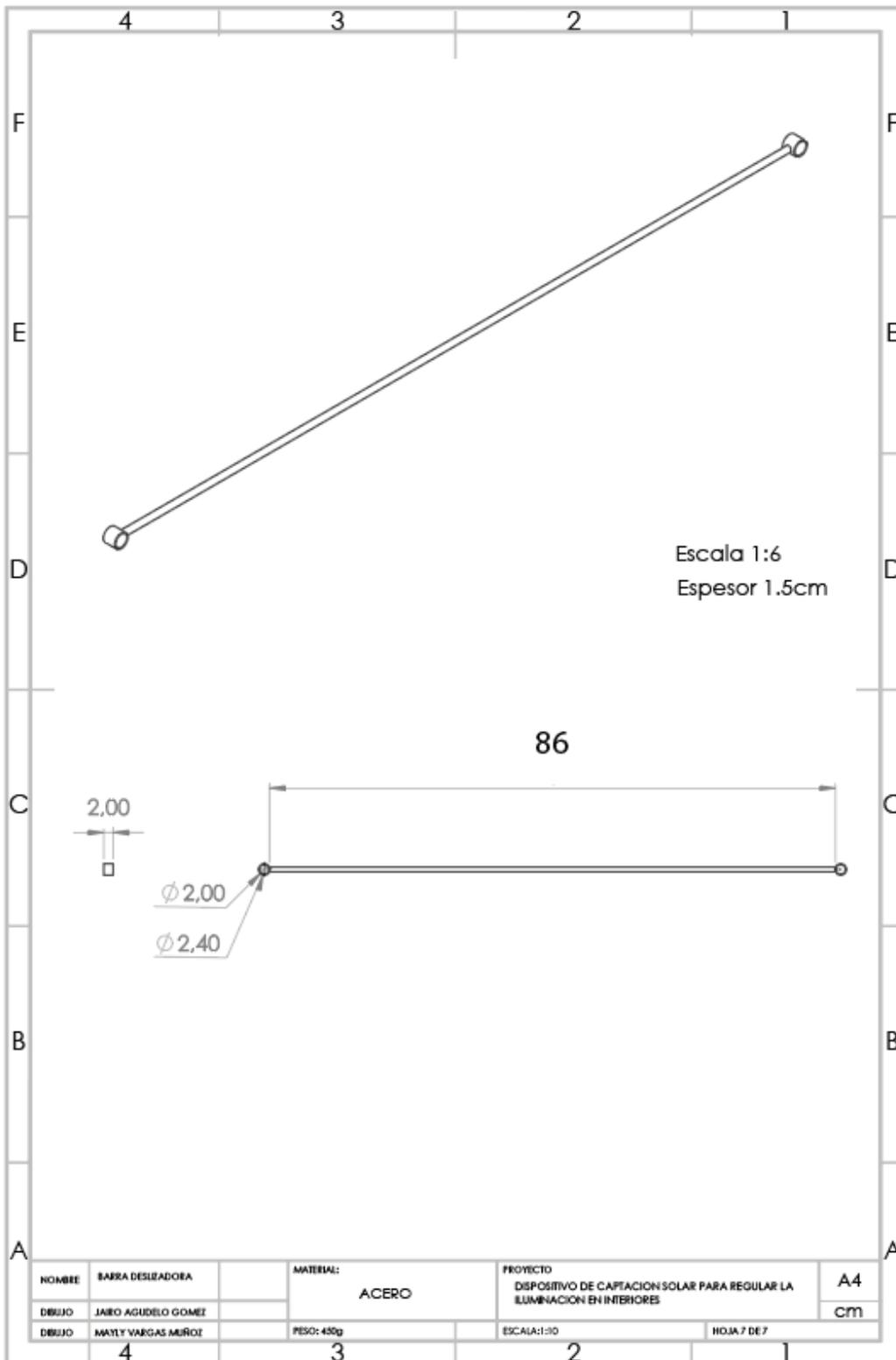
**Figura 119**

*Planos marco del soporte*



**Figura 120**

*Planos barra deslizadora*



**Figura 121**

*Plano manija de agarre*

