



Diseño y fabricación de dos prototipos de lámparas colgantes en madera con potencia máxima de 30 W para iluminación de interiores mediante metodología (DFMA) e ingeniería inversa para la empresa Tablecortes S.A.S.

Anderson Orlando Ospina Riveros  
Guillermo Andrés Piraquive Peña

Código: 10431417081

Código: 10431427989

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica Bogotá D.C, Colombia

Bogotá – Colombia

2022

Diseño y fabricación de dos prototipos de lámparas colgantes en madera con potencia máxima de 30 W para iluminación de interiores mediante metodología (DFMA) e ingeniería inversa para la empresa Tablecortes S.A.S.

Anderson Orlando Ospina Riveros

Guillermo Andrés Piraquive Peña

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de: INGENIERO  
ELECTROMECAÁNICO

Director:

Henry Moreno Acosta

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica Bogotá D.C, Colombia

Bogotá – Colombia

2022

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

El trabajo de grado titulado Diseño y fabricación de dos prototipos de lámparas colgantes en madera con potencia máxima de 30 W para iluminación de interiores mediante metodología (DFMA) e ingeniería inversa para la empresa Tablecortes S.A.S.

Cumple con los requisitos para optar  
Al título de Ingeniero electromecánico.

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Bogotá, 31 mayo de 2022

## DEDICATORIA

*Este proyecto de grado está dedicado de antemano a Dios por permitirnos vivir, soñar y llevar a cabo las metas propuestas por los integrantes del presente proyecto; A nuestra familia y en especial a nuestros padres Arnulfo Ospina, Faisa Mary Riveros, Martha Lucía Peña Romero y Luís Armando Puentes por darnos la vida, creer en nosotros darnos amor, apoyo y querer siempre lo mejor para nuestro bienestar, gracias por los estudios básicos que nos han consolidado como profesionales.*

*A nuestros compañeros de estudio y profesores que de una u otra forma nos guiaron para alcanzar nuestros logros a lo largo de estos 5 años o más y a la universidad Antonio Nariño por la educación y formación como ingenieros electromecánicos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos al director de proyecto Henry Moreno Acosta por su apoyo, paciencia, asesoría y cordialidad mostrada en la ejecución del presente proyecto de diseño, guiando el proceso de tal forma que se pudiese realizar satisfactoriamente, dejando enseñanzas a aplicar en el ámbito profesional.

Agradecemos a los evaluadores por la colaboración prestada y aquellas observaciones al proyecto buscando la mejora al 100% de la idea propuesta. A la comunidad FIMEB UAN que prestaron apoyo para la ejecución de los procesos educativos en la carrera, fomentando la cultura del conocimiento, aprendizaje y autodisciplina, dando desarrollo directo al país y a la comunidad primaria donde se puede aplicar o ejercer la profesión aprendida en la Universidad Antonio Nariño.

## RESUMEN

La propuesta de este proyecto es diseñar y fabricar dos prototipos de lámparas colgantes en madera para iluminación de interiores con capacidad lumínica entre 100 a 200 Luxes, potencia máxima de 30 W, conexión de bombilla LED E27 y dimensiones mínimas de 0.6x0.6x0.6 m, mediante la metodología de ingeniería inversa y diseño para la fabricación y montaje, destacando la versatilidad, la vanguardia y el dinamismo que ofrece la metodología DFMA para el mejoramiento en diseño de estos elementos que ya están constituidos.

Normalmente hay lámparas que constan de tornillería y modelamientos rústicos que hacen el proceso de fabricación lento y tedioso, siendo un aspecto a tener en cuenta del presente proyecto, buscando las mejoras a elementos de este tipo, como por ejemplo el reemplazo de los tornillos por cuñas u otros métodos de sujeción que faciliten el armado de los elementos e implementando herramientas (guías) que mejoren el corte de las piezas disminuyendo el tiempo de fabricación; se pretende aprovechar esta idea con la empresa Tablecortes S.A.S., quienes se desempeñan en el comercio de la madera, además de proponer no solamente el diseño de las lámparas sino también de las herramientas contempladas con la metodología DFMA para la ejecución de este proyecto.

**PALABRAS CLAVE: CAD, Diseño, lámpara, ingeniería inversa, iluminación, potencia, mantenimiento, plantillas, procedimientos, metodología DFMA, madera.**

## ABSTRACT

The proposal of this project is to design and manufacture two prototypes of wooden pendant lamps for interior lighting with light capacity between 100 to 200 Luxes, maximum power of 30 W, connection of an E27 LED bulb and minimum dimensions of 0.6x0.6x0.6 m, through the reverse engineering and design methodology for manufacturing and assembly, highlighting the versatility, the avant-garde and the dynamism offered by the DFMA methodology for the improvement in the design of these elements that are already constituted.

Normally there are lamps that consist of screws and rustic modeling that a slow and tedious manufacturing process, being an aspect to take into account of this project, looking for improvements to elements of this type, such as the replacement of screws by wedges or other fastening methods that facilitate the assembly of the elements and implementing tools (guides) that improve the cutting of the pieces, reducing the manufacturing time; It is intended to take advantage of this idea with the company Tablecortes S.A.S., who work in the wood trade, in addition to proposing not only the design of the lamps but also the tools contemplated with the DFMA methodology for the execution of this project.

**KEY WORDS:** CAD, Design, lamp, reverse engineering lighting, power, maintenance, templates, procedures, DFMA methodology, Wood

## CONTENIDO

1	ASPECTOS INICIALES DEL PROYECTO.....	18
1.1	Planteamiento del problema .....	18
1.2	Justificación.....	18
1.3	Alcance .....	19
1.4	Objetivos.....	19
1.4.1	Objetivo general .....	19
1.4.2	Objetivos específicos.....	19
2	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	20
2.1	CONCEPTO DE GUIA, PLANTILLA, FLUJO LUMINOSO, LÁMPARA LUMINARIA .....	20
2.1.1	Guías:.....	20
2.1.2	Plantillas.....	20
2.1.3	Flujo luminoso:.....	20
2.1.4	Luminaria: .....	20
2.1.5	Lámpara: .....	21
2.2	CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE LUMINARIAS .....	22
2.2.1	Clasificación de las luminarias .....	22
2.2.2	Clasificación según la distribución de flujo: .....	22
2.2.3	Luminarias con un eje de simetría o revolución: .....	22
2.2.4	Luminarias con 2 planos de simetría.....	23
2.2.5	Luminarias con un plano de simetría. ....	24
2.3	Clasificación según la apertura del Haz: .....	25
2.4	Tipos de luminarias.....	26
2.4.1	Luminarias y sistemas de iluminación en exteriores .....	26
2.4.2	Luminarias y sistemas de iluminación en interiores .....	27
2.4.3	Tipos de luminarias.....	29
2.4.4	Luminarias colgantes y componentes principales .....	31
2.5	Partes de un portalámparas.....	33
2.6	CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE LÁMPARAS .....	34
2.6.1	Clasificación de lámparas .....	34
2.6.2	Tipos de lámparas .....	35
2.6.3	Lámparas LED, OLED (LEP) .....	36



2.7	Ingeniería concurrente.....	37
2.8	Metodología DFMA.....	38
2.9	Ingeniería inversa .....	39
3	ESTADO DEL ARTE .....	39
4	DESARROLLO DE PROYECTO .....	42
4.1	Enunciado.....	42
4.2	Funciones .....	42
4.3	Requisitos.....	42
4.4	Criterios de selección: .....	43
5	DISEÑO, FABRICACION Y MONTAJE DE LUMINARIA 1. ....	45
5.1	PRIMER PASO: Definición de producto .....	46
5.1.1	Especificación del producto .....	46
5.1.2	Modelo de documento de especificación.....	46
5.2	SEGUNDO PASO: Generación del concepto (Diseño conceptual).....	49
5.2.1	Estructura funcional .....	49
5.2.2	Generación de principios de solución .....	50
5.2.3	CONCEPTO PARA EL DISEÑO DE LA LUMINARIA 1: .....	54
5.3	TERCER PASO: Diseño de materialización.....	55
5.3.1	Etapa 1: Identificar requerimientos limitadores.....	55
5.3.2	Etapa 2: Funciones y parámetros críticos .....	57
5.3.3	Etapa 3: Alternativas preliminares de diseño .....	61
5.3.4	Etapa 4: Evaluación de alternativas y elección de prototipos finales .....	62
5.3.5	Etapa 5: Materializar las restantes funciones .....	63
5.3.6	Etapa 6: Materialización completa del diseño provisional: .....	64
5.3.7	Etapa 7 Evaluar y validar el diseño de materialización.....	65
5.4	CUARTO PASO: Diseño de detalle .....	65
5.4.1	Determinación de Piezas y componentes .....	65
5.4.2	Materiales .....	69
5.4.3	Materiales complementarios .....	71
5.4.4	Acabados y Recubrimientos .....	82
5.4.5	Lista de componentes .....	83
5.4.6	Revisión del proyecto.....	86
5.5	QUINTO PASO: Arquitectura y modularidad .....	86
5.5.1	Arquitectura de producto .....	86

5.5.2 Modularidad.....	87
5.6 SEXTO PASO: Fabricación.....	89
5.6.1 Objetivos del DFMA.....	89
5.6.2 Vías de obtención de piezas y componentes .....	90
5.6.3 Costo de fabricación.....	95
5.7 SEPTIMO PASO: Ensamble.....	96
5.7.1 Objetivos del DFMA.....	96
5.7.2 Ensamble Luminaria 1.....	99
5.7.3 Simulación estática luminaria colgante en madera 1 – ‘La Piña’ .....	103
6 DISEÑO, FABRICACION Y MONTAJE DE LUMINARIA 2 .....	105
6.1 PRIMER PASO: Definición de producto .....	105
6.1.1 Especificación del producto .....	105
6.1.2 Modelo de documento de especificación.....	105
6.2 SEGUNDO PASO: Generación del concepto (Diseño conceptual).....	108
6.2.1 Estructura funcional .....	108
6.2.2 Generación de principios de solución .....	108
6.2.3 CONCEPTO PARA EL DISEÑO DE LA LUMINARIA 2: .....	112
6.3 TERCER PASO: Diseño de materialización.....	113
6.3.1 Etapa 1: Identificar requerimientos limitadores.....	113
6.3.2 Etapa 2: Funciones y parámetros críticos .....	114
6.3.3 Etapa 3: Alternativas preliminares de diseño .....	119
6.3.4 Etapa 4: Evaluación de alternativas y elección de prototipos finales .....	120
6.3.5 Etapa 5: Materializar las restantes funciones .....	121
6.3.6 Etapa 6: Materialización completa del diseño provisional: .....	122
6.3.7 Etapa 7 Evaluar y validar el diseño de materialización.....	122
6.4 CUARTO PASO: Diseño de detalle.....	122
6.4.1 Determinación de Piezas y componentes .....	123
6.4.2 Materiales .....	125
6.4.3 Materiales complementarios .....	127
6.4.4 Acabados y Recubrimientos .....	134
6.4.5 Lista de componentes .....	134
6.4.6 Revisión del proyecto.....	135
6.5 QUINTO PASO: Arquitectura y modularidad .....	135
6.5.1 Arquitectura de producto .....	135

6.5.2 Modularidad.....	136
6.6 SEXTO PASO: Fabricación.....	138
6.6.1 Vías de obtención de piezas y componentes .....	138
6.6.2 Costo de fabricación.....	143
6.7 SEPTIMO PASO: Ensamble.....	144
6.7.1 Montaje y automatización .....	144
6.7.2 Ensamble Luminaria 2.....	148
7 CONCLUSIONES.....	148
8 BIBLIOGRAFIA.....	150
9 ANEXOS .....	156

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación NEMA para luminarias según apertura haz de luz [7].....	25
Tabla 2: Clasificación CIE Luminarias de interior [10].....	28
Tabla 3: Tipos de luminarias .....	29
Tabla 4: Descripción de elementos lámpara colgante Cossano.....	32
Tabla 5: Clasificación de lámparas de acuerdo con el IRC [14] .....	35
Tabla 6: Identificación de cumplimiento de los objetivos específicos. ....	43
Tabla 7: Requerimientos de usuario para fabricación de luminaria 1. ....	46
Tabla 8: Luminarias colgantes en madera para análisis de Ingeniería inversa.....	51
Tabla 9: Características de luminarias a analizar. ....	53
Tabla 10: Requerimientos limitadores de diseño. ....	56
Tabla 11: Descripción de diseño disco superior.....	58
Tabla 12: Descripción dibujo discos inferiores.....	58
Tabla 13: Descripción dibujo discos inferiores.....	59
Tabla 14: Descripción dibujo de listones .....	60
Tabla 15: Descripción de alternativas de carcasa.....	61
Tabla 16: Evaluación de modelos - luminaria 1.....	62
Tabla 17: Características de las especies de madera usadas en Tablecortes S.A. ....	70
Tabla 18: Criterios de cumplimiento mínimo para conductores eléctricos. ....	72
Tabla 19: Capacidad de corriente para conductores NTC 2050: 402-5. [14].....	73
Tabla 20: Equivalencias de potencia eléctrica y flujo luminoso (Lumen) bombillas LED. [24]..	74
Tabla 21: Portalámparas marca: ILUMAX.....	79
Tabla 22: Datos para cálculo de esfuerzo cortante simple. ....	81
Tabla 23: Descripción de recubrimientos.....	83
Tabla 24: Componentes de Luminaria 1. ....	84
Tabla 25: Tolerancias y ajustes. [21].....	88
Tabla 26: Proceso operativo para fabricación de piezas. ....	91
Tabla 27: Plantillas digitales DXF. ....	93
Tabla 28: Plantillas para perforaciones. ....	94
Tabla 29: Selección de material para plantillas de fabricación. ....	95
Tabla 30: Costos fabricación de piezas. ....	95
Tabla 31: Guías para ensamble.....	97
Tabla 32: Componentes a ensamblar.....	98
Tabla 33: Ensamble luminaria 1.....	99
Tabla 34: Operaciones de ensamble. ....	101
Tabla 35: Requerimientos de usuario para fabricación de luminaria 2.....	105
Tabla 36: Luminarias colgantes en madera para análisis de Ingeniería inversa.....	109
Tabla 37: Características de luminarias a analizar. ....	111
Tabla 38: Requerimientos limitadores de diseño. ....	114
Tabla 39: Descripción de diseño disco superior.....	115
Tabla 40: Descripción dibujo discos inferiores.....	116
Tabla 41: Descripción dibujo de listones. ....	117
Tabla 42: Descripción de hojas. ....	118
Tabla 43: Descripción de alternativas de carcasa.....	119

Tabla 44: Evaluación de modelos - luminaria 1.....	120
Tabla 45: Piezas y componentes.....	123
Tabla 46: Características del MDF.....	125
Tabla 47: Criterios de cumplimiento mínimo para conductores eléctricos.....	127
Tabla 48: Portalámparas marca: ILUMAX.....	132
Tabla 49: Componentes de Luminaria 2.....	135
Tabla 50: Tolerancias y ajustes de acoples luminaria 2.....	137
Tabla 51: Proceso operativo para fabricación de piezas.....	139
Tabla 52: Plantillas digitales luminaria 2.....	141
Tabla 53: Costos fabricación de piezas.....	143
Tabla 54: Soporte para ensamble.....	145
Tabla 55: Componentes a ensamblar.....	147
Tabla 56: ensamble luminaria.....	148

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Luminaria. [1] .....	21
Figura 2: Lámpara Fluorescente. [2] .....	21
Figura 3: Luminarias de un eje de simetría o revolución, tipo globo o reflectores. [3] .....	23
Figura 4: Luminarias rectangulares y su curva fotométrica. [4] .....	24
Figura 5: Luminarias con un plano de simetría y curva fotométrica. [5] .....	24
Figura 6: Apertura de haz a 10°, 25 y 33°. [6] .....	25
Figura 7: Luminarias de poste para iluminación de espacios públicos. [8] .....	27
Figura 8: Clasificación CIE de luminarias de interior según su flujo luminoso. [9] .....	28
Figura 9: Luminaria de techo madera Cossano. [11] .....	32
Figura 10: Parte de un portalámparas. [12] .....	33
Figura 11: Dimensiones de casquillos de bombillas. [13] .....	34
Figura 12: Set de lámparas LED. [15] .....	36
Figura 13: DFMA aplicado al aire acondicionado Fairmont/Zephyr. [16] .....	40
Figura 14: DFMA aplicado a la fabricación y ensamble de una puerta. [17] .....	41
Figura 15: Flujograma de proceso metodología DFMA. ....	45
Figura 16: Diagrama funcional de modelo de luminaria .....	50
Figura 17: Bosquejo de prototipo luminaria 1 - 'La piña'. ....	55
Figura 18: Modelamientos iniciales disco superior 1 y 2 (inicio-final). ....	57
Figura 19: Modelamientos iniciales disco inferior (Inicio - final). ....	58
Figura 20: Modelamiento disco intermedio (Inicio - final) .....	59
Figura 21: Modelamientos 1 y 2 de listones decorativos (Inicio - final). ....	60
Figura 22: Acople de Portalámparas. ....	64
Figura 23: Diseño de carcasa en madera 'La Piña'. ....	65
Figura 24: Disco superior de anclaje .....	66
Figura 25: Disco inferior de anclaje .....	67
Figura 26 : Listones .....	68
Figura 27: Disco central. ....	69
Figura 28: Superficie de Tríplex de pino de 6,5 mm de espesor. ....	71
Figura 29: Disposición para iluminación luminaria 1 .....	75
Figura 30: Altura mínima para bombillas de 2500Lm (30W). ....	76
Figura 31: Expresión para el cálculo de UGR .....	76
Figura 32: Ángulo crítico de deslumbramiento .....	77
Figura 33: índice de posición de Guth .....	78
Figura 34: Roseta E 27 con rosca externa. ....	80
Figura 35: Portalámparas colgante de cable flexible dorada. [19] .....	81
Figura 36: Estructura y arquitectura de luminaria 1 .....	86
Figura 37: Ensamblés estándar luminaria 1 (Disco superior, disco guía VS Listón) .....	88
Figura 38: Ensamblés con pasadores en madera. ....	89
Figura 39: Visualización de componentes en formato DXF. ....	90
Figura 40: Ubicación de piezas para corte en software de máquina corte a laser. ....	91
Figura 41: Grafica de costos .....	96
Figura 42: Luminaria colgante en madera 1 – 'La Piña' .....	102

Figura 43: Control de maya ensamblaje.....	103
Figura 44: Deflexión. ....	103
Figura 45: Resultado de estudio (Tensión de Von mises).....	104
Figura 46: Diagrama funcional de modelo de luminaria.....	108
Figura 47: Bosquejo de prototipo luminaria 2 - 'Hojas'. ....	113
Figura 48: Modelamiento disco superior. ....	115
Figura 49: Modelamientos iniciales disco inferior.....	116
Figura 50: Modelamientos de listones A y B.....	117
Figura 51: Modelamiento de hojas.....	118
Figura 52: Acople de Portalámparas. ....	121
Figura 53: Diseño de carcasa en madera 'HOJAS'.....	122
Figura 54: Corte Transversal (izquierda) y superficie (derecha) MDF [22].....	126
Figura 55: Disposición para iluminación de luminaria 2. ....	128
Figura 56: Altura mínima para bombillas de 2500 Lm (30W) – Luminaria 2.....	129
Figura 57: Expresión para el cálculo de UGR.....	130
Figura 58: Ángulo crítico de deslumbramiento.....	130
Figura 59: Índice de posición de Guth. ....	131
Figura 60: Roseta E 27 con rosca externa. ....	133
Figura 61: Portalámparas colgante de cable flexible NEGRO.....	134
Figura 62: Estructura y arquitectura de luminaria 2.....	136
Figura 63: Plantilla de perforación en disco inferior.....	143
Figura 64: costos de fabricación.....	144
Figura 65: Luminaria colgante en madera tipo hojas.....	147

## INTRODUCCIÓN

La metodología DFMA se desglosa de los conceptos manejados por la ingeniería concurrente con enfoque en el diseño, fabricación y montaje de elementos o procesos, buscando la reducción de costos y tiempo de fabricación; estas metodologías fueron introducidas en 1983 por los estadounidenses, Dr. Peter Dewhurst y el Dr. Boothroyd, las cuales han sido adoptadas por la industria automotriz, maquinaria agrícola, industria maderera entre otros, donde se aprovecha la construcción modular para el ahorro de costos en la producción de elementos para el consumo. [1]

Esta metodología de diseño para la fabricación y ensamble dispone de unas directrices específicas para que se pueda llevar a cabo el proceso sobre la fabricación de algún producto, entre estos se destacan: Ciclo de vida del producto, mercado de materiales, producción ingenieril, selección de procesos, diseños sencillos con tolerancias apropiadas con el fin de facilitar el ensamble de los componentes. [2]

La multinacional estadounidense FORD empezó la fabricación de los elementos que componen los automóviles con la metodología propuesta. Se acopló a la productividad el método DFMA, inicialmente se usó en el rediseño de la unidad de aire acondicionado Fairmont/Zephyr, lográndose un ahorro de ensamble entre el 40 y 60% y la reducción de las partes constructivas del mecanismo. [3] La construcción modular a nivel global involucra de igual manera la industria maderera, destacándose la construcción de viviendas, juguetes, muebles y lo que ha este proyecto respecta las lámparas de techo en interiores. Existen páginas web que ofertan este tipo de productos a nivel mundial. Un ejemplo es la página de venta online española Pinterest donde se encuentran diferentes modelos de lámparas fabricadas en países como Brasil, España, Inglaterra, Australia, México y Colombia, entre estos diseños se puede vislumbrar variedad de lámparas colgantes en madera.

Se pueden encontrar muchos diseños para decoración, iluminación y embellecimiento de interiores a nivel global, destacando la versatilidad e innovación en el arte del diseño. La industria de los muebles y transformación de elementos de madera en Colombia no es ajena a la aplicación de este tipo de metodologías. En el país se ha reportado una media en ventas generales del 2013 al 2016 de 1.9 billones de pesos, siendo Bogotá la ciudad que mayor cantidad de establecimientos tiene (aproximadamente el 46% de los establecimientos PYMES nacionales); además de participar en la exportación de muebles modulares como por ejemplo los asientos transformables en cama que en el 2017 representó 18000 dólares para el país [4]

En Bogotá se encuentran aproximadamente 154 establecimientos registrados en diseño y fabricación de muebles en madera de acuerdo a datos del DANE [5]. Empresas como: Nordic Iluminación SAS, Armok S.A.S, Maderformas, Moduart ofrecen soluciones modulares en el diseño y fabricación no solo de lámparas sino también de muebles y demás elementos en madera para decoración de interiores.

En este proyecto se aplica el concepto de ingeniería inversa como metodología para el diseño de productos o procesos productivos a nivel industrial. La ingeniería inversa permite capturar, recepcionar y medir algún objeto físico para describir su geometría y así obtener



características a mejorar en diseños nuevos que mantengan las mismas características funcionales del elemento base. [6]

La ingeniería adquiere relevancia e importancia en el ámbito del diseño y la manufactura pues que en ambos se requiere recopilar información, la cual se clasifica en 4 aspectos generales:

- Información geométrica y dimensional.
- Información de manufactura (materiales y procesos).
- Información de funcionalidad (Partes y sistemas).
- Información de propiedades físicas. [7]

Junto a la metodología DFMA se pretende la realización de los prototipos de lámparas colgantes concepto del presente proyecto.

## **1 ASPECTOS INICIALES DEL PROYECTO**

### **1.1 Planteamiento del problema**

Actualmente las empresas buscan mejorar sus diseños e innovar en nuevos productos para lograr ser competitivas y abarcar la mayor cantidad de clientes o compradores para la sostenibilidad de sus negocios; de esta manera se planea trabajar sobre el diseño de dos lámparas colgantes en madera para iluminación de interiores para la empresa Tablecortes S.A.S., buscando aprovechar el retal de madera que esta empresa no usa y desecha en los procesos de corte.

Este diseño destaca la metodología DFMA y construcción Modular esperando reducir en un 40% el tiempo de ensamblaje y ahorrar un 20% en costos en comparación del proceso de fabricación de una lámpara colgante. No solamente se contempla el diseño de las lámparas, sino también de aquellas herramientas para corte, lijado, procedimientos para el tratamiento de la madera y construcción del elemento propuesto con la finalidad de que la empresa Tablecortes S.A.S. pueda ser competitiva con el prototipo sugerido e incursionar en esta idea de negocio.

### **1.2 Justificación**

Actualmente las empresas buscan mejorar sus diseños e innovar en nuevos productos para lograr ser competitivas y abarcar la mayor cantidad de clientes o compradores para la sostenibilidad de sus negocios; de esta manera se planea trabajar sobre el diseño y fabricación de dos lámparas colgantes en madera para iluminación de interiores para la empresa Tablecortes S.A.S., buscando aprovechar el retal de madera que esta empresa no usa y desecha en los procesos de corte. Entre estos residuos se encuentra: el cedro, el pino, la flor morada y el MDF donde sus desperdicios tienen unas dimensiones promedio de 0,05m x 0,08m x 0,7m, se desea reutilizar esta madera también con el fin de generar un impacto ambiental en la compañía, ya que muchas veces el volumen de residuos sobrepasa el límite de la bodega y se genera un costo adicional por el transporte de esta cantidad de material a la basura.

Estos diseños destacan la metodología DFMA y construcción Modular esperando reducir en un 40% el tiempo de ensamblaje y ahorrar un 20% en costos en comparación del proceso de fabricación de lámparas colgantes convencionales, No solamente se contempla los diseños y fabricación de las lámparas, sino también de aquellas herramientas para corte, lijado, procedimientos para el tratamiento de la madera y construcción de los elementos propuestos con la finalidad de que la empresa Tablecortes S.A.S. pueda ser competitiva con los prototipos sugeridos e incursionar en esta idea de negocio.

### 1.3 Alcance

Este proyecto abarca exclusivamente el diseño y fabricación de dos prototipos de lámparas, aplicando ingeniería inversa y la metodología DFMA para la construcción física de los elementos en madera por parte de la empresa Tablecortes S.A.S. para que esta misma pueda comercializar los productos, destacando elementos innovadores, modernos, estéticos y llamativos al comprador.

Los prototipos de lámparas deberán garantizar rentabilidad a la empresa y poder instalarse en el interior de un centro comercial, restaurantes y otras zonas comunes con altura no inferior a 3.00 m entre piso y techo. Deberá cumplir estándares de iluminación regulados por la norma vigente colombiana en este caso el RETILAP, la cual exige un nivel de iluminación de 100 a 200 luxes para interiores y un factor de deslumbramiento no mayor a 25 UGR [8].

Se busca desarrollar el paquete documental que involucre el paso a paso de corte y armado de las lámparas, la guía de instalación, y la documentación técnica para el diseño, fabricación y ensamble de los prototipos.

### 1.4 Objetivos

#### 1.4.1 *Objetivo general*

Diseñar y fabricar dos prototipos de lámparas colgantes en madera para iluminación de interiores de tamaño mínimo de 0.6m x 0.6m x 0.6m para conexión de una bombilla LED E27 por lámpara con potencia no mayor a 30 W, mediante metodología de ingeniería inversa para su fabricación y ensamble (DFMA) para la empresa Tablecortes S.A.S.

#### 1.4.2 *Objetivos específicos*

- Definir la geometría de las lámparas aplicando metodología de ingeniería inversa.
- Determinar demás materiales complementarios al cedro, pino, flor morado y MDF para la fabricación de las lámparas.
- Seleccionar los componentes eléctricos de iluminación adecuados, de acuerdo con estándares de seguridad, factor de deslumbramiento, nivel de luxes permitidos de acuerdo con NTC 2050 y RETILAP.
- Diseñar y construir los componentes estructurales de las lámparas de acuerdo con los lineamientos de la metodología DFMA.
- Elaborar el diseño de las lámparas junto a los planos de despiece, planos de plantillas, planos de guías y ensamble en CAD.
- Escoger el material y fabricar las plantillas y guías de ensamble que faciliten la elaboración de los componentes de las lámparas.
- Elaborar el documento descriptivo y de soporte del diseño, fabricación y ensamble de las lámparas.

## 2 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

En este capítulo se refieren los conceptos genéricos y esenciales que buscan transmitir de mejor manera a los lectores el propósito del presente proyecto; aquí se involucran los conceptos de flujo luminoso, luminaria, lámpara sus clasificaciones tipos y aplicaciones, también se desprende el concepto de ingeniería concurrente pues es de esta de la que se deriva la metodología DFMA, Naturalmente se suele comprender por cualquier persona el objetivo de una lámpara pero no es técnicamente aceptable su uso conceptual en la cotidianidad, a continuación se describen las definiciones referidas para este proyecto.

### 2.1 CONCEPTO DE GUIA, PLANTILLA, FLUJO LUMINOSO, LÁMPARA LUMINARIA

Normalmente en nuestro país se suele confundir estos términos más que todo el de luminaria y lámpara, sin embargo, se han adoptado de manera errónea, aunque aceptable en el proceso comunicativo del país para referirse a elementos lumínicos. No está de más aclarar técnicamente los conceptos de luminaria y lámpara, pues es importante referir las normas técnicas que infieren un estándar en las definiciones en el campo de la iluminación.

#### 2.1.1 Guías:

Se entenderá como ‘guías’ a los dispositivos, mecanismos o utillajes encargados de facilitar el *ensamble* de los componentes de las luminarias.

#### 2.1.2 Plantillas

Herramientas o mecanismos ya sean físicos o digitales encargados de facilitar la *fabricación* de los componentes de las luminarias.

#### 2.1.3 Flujo luminoso:

Es la cantidad de luz irradiada por un ente emisor de luz, la unidad de medida es el Lumen (lm), es necesario tener en cuenta este concepto pues es muy usado en el desarrollo del proyecto.

#### 2.1.4 Luminaria:

La luminaria es el conjunto de elementos estructurales que protegen el ente emisor de luz, comprende el anclaje o soporte, elementos de suspensión, sistemas electrónicos auxiliares y la carcasa que distribuye el flujo luminoso hacia algún lugar. [9][10]

**Figura 1: Luminaria. [1]**



Fuente: vintage, f. s. (2022). *francisco segarra furniture vintage*. Obtenido de Lámparas colgantes metálicas Royal: <https://www.franciscosegarra.com/mobiliario/luminarias-colgantes-en-metal/>

Técnicamente hablando la luminaria hace alusión al soporte, al conjunto que abarca la fuente luminosa, en distintos lugares este conjunto se suele confundir con el término a continuación.

### **2.1.5 Lámpara:**

Es un término usado generalmente para referirse a las luminarias (concepto descrito anteriormente) incluyendo el ente emisor de luz; En el ámbito ingenieril es acertado usar la palabra ‘lámpara’ para referirse a la fuente luminosa que convierte la energía eléctrica en energía lumínica con el fin de iluminar diferentes tipos de entornos para mejorar la visibilidad en espacios oscuros transitables o en los cuales se realice algún tipo de labor.

**Figura 2: Lámpara Fluorescente. [2]**



Fuente: crecimiento, l. s. (s.f.). *lumicorp socios del crecimiento*. Obtenido de LÁMPARA BAJO CONSUMO 12W LUZ CÁLIDA:

<http://www.lumicorp.com.py/producto/345/Lampara%20Bajo%20Consumo%2012W%20Luz%20Calida>

La figura anterior ilustra una lámpara fluorescente tipo espiral con potencia de 45W; en términos coloquiales es habitual usar la palabra ‘bombilla’ puesto que culturalmente se ha relacionado toda fuente de luz con la bombilla incandescente que ha sido la más utilizada en distintos lugares durante un largo periodo de tiempo desde su invención, por tal razón es normal escuchar este término para referirse a las fuentes lumínicas.

No está mal que a nivel local se relacione el término lámpara a todo el conjunto de luminaria y fuente de luz, mucho menos que se determine la fuente emisora de luz como bombilla y particularmente el desconocimiento de la palabra ‘luminaria’ para referirse a lo descrito anteriormente, pues son conceptos adoptados y aceptados por la comunidad colombiana en su léxico nacional.

A nivel general se establece un estándar de conceptos emitido y controlado por la CIE (Comité internacional de iluminación) ubicado en Viena, Austria específicamente en el documento CIE S017/E2020 de la cual se describen los conceptos anteriores; esta entidad regula las directrices para diseñar e instalar sistemas de iluminación en diversidad de entornos, siendo adoptados por entidades nacionales como los es el ICONTEC, el ministerio de minas y energía en Colombia, a través del RETILAP, LA NTC 6519 y la NTC 2050, normas a tener en cuenta para el diseño de los prototipos de luminarias colgantes.

## **2.2 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE LUMINARIAS**

### ***2.2.1 Clasificación de las luminarias***

Las luminarias se pueden clasificar acorde a su funcionalidad, desde allí se determinan 2 características generales que hacen parte de estos elementos según su distribución de flujo o según la apertura de haz:

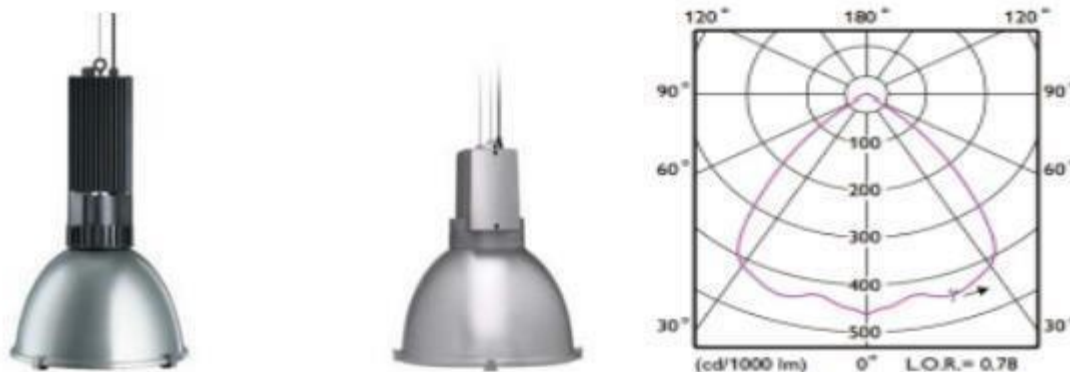
### ***2.2.2 Clasificación según la distribución de flujo:***

Al encenderse una lámpara en su respectiva luminaria, esta emitirá un flujo luminoso hacia su alrededor y acorde a su geometría las luminarias pueden ser:

### ***2.2.3 Luminarias con un eje de simetría o revolución:***

Este grupo hace referencia a esas proyecciones lumínicas sobre un plano, donde se describe una curva fotométrica simétrica alrededor de un eje vertical. (La curva fotométrica es un gráfico que relaciona en un plano, la capacidad lumínica de una lámpara y la distancia de esta sobre el lugar de trabajo), en este grupo se suelen encontrar luminarias de globo, cúpula o proyectores, así como se ilustra en la siguiente imagen:

**Figura 3: Luminarias de un eje de simetría o revolución, tipo globo o reflectores. [3]**



Fuente: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1\\_5Luminarias\\_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id=170990](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1_5Luminarias_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id=170990) [último acceso: 18 marzo 2022]

Las luminarias ilustradas al ser encendidas emiten una distribución de flujo luminoso simétrico evidenciable al realizar un estudio fotométrico, a través de las curvas definidas mostradas en la figura 3 al lado derecho, se evidencia una curva lila simétrica sobre un eje vertical simulando el método de iluminación expedido por las luminarias identificadas en este grupo. Sobre el plano, el punto centro refiere la ubicación del foco de luz o la lámpara y esa curva de color lila describe la magnitud del flujo luminoso alrededor del elemento y el área circundante que ilumina.

#### ***2.2.4 Luminarias con 2 planos de simetría***

A diferencia de los tipos de luminarias anteriores, en esta se producen 2 curvas simétricas en la curva fotométrica abarcando más flujo luminoso sobre el área circundante, las luminarias con forma cuadrada son claro ejemplo de este grupo. Estas características se pueden observar en la siguiente imagen, allí se evidencia sobre el gráfico las dos curvas simétricas que caracterizan las luminarias rectangulares junto a este.

**Figura 4: Luminarias rectangulares y su curva fotométrica. [4]**

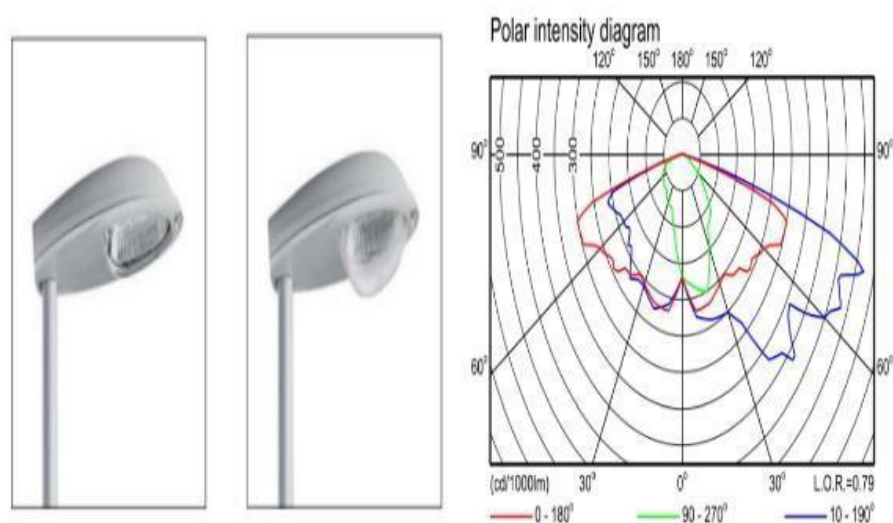


Fuente: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1\\_5Luminarias\\_clasificacion.pdf?sequence=1&id Allowed=](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1_5Luminarias_clasificacion.pdf?sequence=1&id Allowed=) [último acceso: 18 marzo 2022]

### 2.2.5 Luminarias con un plano de simetría.

En este grupo se encuentran 3 curvas sobre el plano fotométrico, difiere en que de estas solo una es simétrica, mientras que las otras se pueden presentar de forma irregular; las luminarias de alumbrado público son un claro ejemplo para este grupo.

**Figura 5: Luminarias con un plano de simetría y curva fotométrica. [5]**



Fuente: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1\\_5Luminarias\\_clasificacion.pdf?sequence=1&id Allowed=](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1_5Luminarias_clasificacion.pdf?sequence=1&id Allowed=) [último acceso: 18 marzo 2022]



En la curva fotométrica de la imagen anterior se verifica la única que es simétrica (roja) y las demás las cuales varían por diversos factores entre ellos los ambientales, puesto que alteran la radiación de la fuente emisora.

### 2.3 Clasificación según la apertura del Haz:

La apertura del haz de luz hace referencia a la amplitud con la que se expande el flujo luminoso sobre una superficie vista desde el ángulo formado en la fuente luminosa, para más claridad se ilustra en la siguiente imagen lo descrito anteriormente.

**Figura 6: Apertura de haz a 10°, 25 y 33°. [6]**



Fuente: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1\\_5Luminarias\\_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1_5Luminarias_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=) [último acceso: 18 marzo 2022]

Este ángulo también se referencia en el RETILAP como ángulo sólido para el cálculo de iluminación con unidades en estereorradianes ( $\omega$ ). Es también usual clasificar en este grupo las luminarias de un solo eje de simetría, aunque es útil para otras luminarias en el caso de realizar cálculos. La Asociación Nacional de fabricante Eléctricos (NEMA) clasifican las luminarias acordes a la apertura de haz de luz como:

**Tabla 1: Clasificación NEMA para luminarias según apertura haz de luz [7]**

Clasificación NEMA	Apertura del haz luminoso	Descripción
1	10° a 18°	Haz muy cerrado
2	18° a 29°	Haz cerrado
3	29° a 46°	Haz medianamente cerrado

4	46° a 70°	Haz medio
5	70° a 100°	Haz medianamente abierto
6	100° a 130°	Haz abierto
7	Mayor a 130°	Haz muy abierto

Fuente: <https://luminotecnico.blogspot.com/2017/10/clasificacion-nema-del-haz-luminosode.html> [último acceso: 18 marzo 2022]

## 2.4 Tipos de luminarias

Existen tipos de luminarias que varían acorde a su diseño, sus materiales, sus usos o aplicaciones, haciendo tedioso la descripción de cada una de las variables; en este proyecto es pertinente destacar dos grupos en cuanto al sistema de iluminación respecta, aquí se ubican los sistemas de iluminación de exteriores e interiores.

### 2.4.1 Luminarias y sistemas de iluminación en exteriores

En este grupo se contemplan aquellas luminarias expuestas a la intemperie, aquí se involucran aquellas usadas para:

#### 2.4.1.1 Servicio y sistemas de alumbrado público:

En este grupo hace referencia a las luminarias y lámparas usadas con el fin de iluminar espacios comunes de libre circulación (vehicular o peatonal) adscritas a una jurisdicción o distrito. Aquí destacamos las luminarias de poste normalmente ubicadas en las calles, plazoletas y demás zonas públicas o que se encuentren a la intemperie. En la figura a continuación se ilustra aquel ejemplo de luminarias que ofrecen el servicio de iluminación a la comunidad.

**Figura 7: Luminarias de poste para iluminación de espacios públicos. [8]**



Fuente: [https://www.chec.com.co/chec\\_grupo\\_epm\\_«alumbrado público»\\_2017](https://www.chec.com.co/chec_grupo_epm_«alumbrado_público»_2017) [En Línea].

También hacen parte de este grupo aquellas luminarias pertenecientes a conjuntos cerrados con disposición al alumbrado exterior en estos lugares.

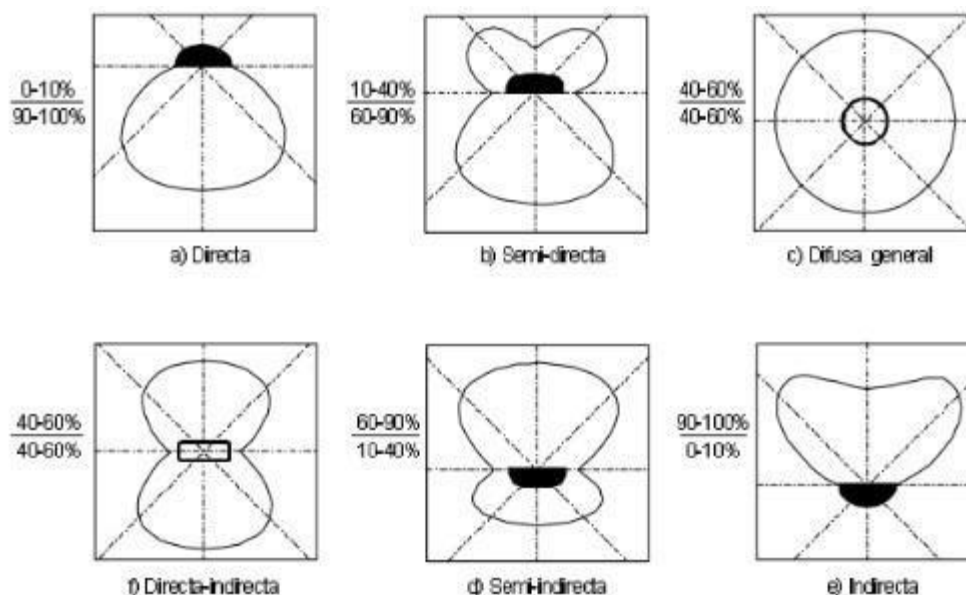
#### ***2.4.1.2 Sistemas de tránsito:***

Corresponde a las luminarias ubicadas en corredores viales que además de iluminar, advierten a los conductores de las condiciones de la carretera, ninguna de estas hace parte de algún municipio, jurisdicción o distrito.

#### ***2.4.2 Luminarias y sistemas de iluminación en interiores***

La iluminación en interiores hace referencia a las luminarias que suelen llamarse de uso general inclusive las de finalidad decorativa e instaladas en áreas generales de edificaciones, talleres de ensamble, procesos químicos, fábricas de confecciones, industria eléctrica, alimenticia, fundición, centros de atención médica, almacenes, colegios y muchos más espacios que requieren iluminación en su interior. La CIE (comité internacional de la iluminación) en la división 3: ‘ambiente interior y diseños de iluminación’ clasifica las luminarias de interior acorde al flujo luminoso emitido e ilustrado en la imagen a continuación:

**Figura 8: Clasificación CIE de luminarias de interior según su flujo luminoso. [9]**



Fuente: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/> Clasificación de distribución luminosa según la CIE 1986 «luminarias para iluminación de interiores» 17 junio 2002 [En Línea].

Así como en los planos fotométricos ilustrados en el numeral 2.2.1, en la figura 8 se ilustran planos similares ubicándose la lámpara en el centro de este y la curva que se observa, vislumbra el flujo luminoso emitido por cada luminaria; cada gráfico muestra a su lado izquierdo una fracción, en el numerador se designa el porcentaje de dispersión del flujo luminoso y en el denominador el porcentaje aprovechable o dirigido hacia la superficie de trabajo.

**Tabla 2: Clasificación CIE Luminarias de interior [10]**

Literal	Clasificación	Porcentaje de dispersión flujo luminoso (Techo y paredes)	Porcentaje de flujo luminoso (Suelo)
a	Directa	0-10 %	90-100 %
b	Semidirecta	10-40%	60-90 %
c	Difusa general	40-60%	40-60%
d	Directa/ indirecta	40-60 %	40-60%



<b>e</b>	Semi indirecta	60-90%	10-40 %
<b>f</b>	Indirecta	90-100%	0-10 %




Fuente: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/> Clasificación de distribución luminosa según la CIE 1986 «luminarias para iluminación de interiores» 17 junio 2002 [En Línea].

A Partir del esquema anterior es relevante clasificar las luminarias de interiores; ahora catalogar los diferentes tipos de luminarias depende de su aplicación encontrándose gran variedad en la industria comercial, sin embargo, se hará mención de algunos tipos en el siguiente numeral.

### 2.4.3 Tipos de luminarias

**Tabla 3: Tipos de luminarias**

No	Luminaria	Características	Diseño
1	<b>Luminaria de pared [25]</b>	En interiores podemos encontrar luminarias ancladas en las paredes de diferentes recintos, su finalidad es iluminar de forma directa o indirecta el lugar, normalmente se usan con motivo decorativo.	
2	<b>Luminarias de pie [26]</b>	Estas luminarias se utilizan con motivos decorativos de interiores en hogares o recintos comerciales, cumple con la característica de ser móvil y soportarse en pie como se ilustra en la imagen.	

3	<b>Luminarias de sobremesa</b> <b>[27]</b>	<p>Son luminarias muy conocidas en el ámbito de la iluminación se ubican en mesas con la finalidad de alumbrar dormitorios, escritorios, mesas de trabajo y donde se requiera el elemento.</p>	
4	<b>Luminaria de techo</b> <b>[28]</b>	<p>Son las luminarias más usadas para alumbrar cualquier recinto cerrado, instaladas especialmente para iluminar un área concreta, están hechas de distintos materiales y formas para dar un ambiente agradable, se empotran al techo por algún método de sujeción o anclaje.</p>	
5	<b>Luminaria de techo decorativa</b> <b>[29]</b>	<p>Son luminarias empotradas al techo con la particularidad que se suspenden de un cable o guaya y la respectiva lámpara o fuente emisora de luz, tienen finalidad decorativa suelen estar fabricadas de metales, acrílicos, madera y mezclas de otros elementos.</p>	

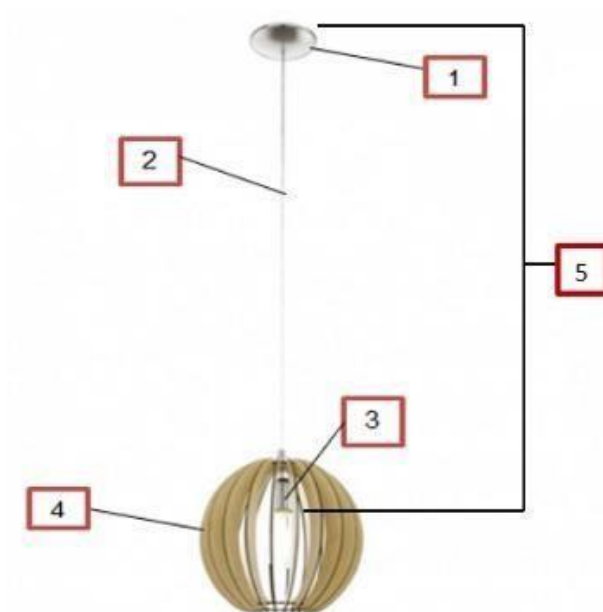
6	<p><b>Luminaria colgante Mantra [30]</b></p>	<p>Luminaria colgante que involucra la mezcla de dos o más materiales, en este diseño se ilustra una luminaria que une el vidrio y el metal para obtención de diseños con fin decorativo para iluminación de interiores.</p>	
7	<p><b>Luminaria colgante LED Francis, antracita [31]</b></p>	<p>Las cintas LED son un tipo de lámpara que afirman una vez más el amplio campo de aplicación que a estas se le atribuyen, como anteriormente se ha recalcado no hay una normatividad que delimite la creatividad e innovación de este tipo de lámpara</p>	

Fuente: Autores

#### ***2.4.4 Luminarias colgantes y componentes principales***

Como se describió anteriormente cumplen con características decorativas además de iluminar el entorno en las que se instalen, penden de una guaya o cable los cuales se empotran al techo y soportan la fuente emisora de luz. En la figura 7 se señalan las partes generales de una luminaria colgante y las cuales serán prioridad en el desarrollo del presente documento y en la tabla a continuación se describe cada uno de estos elementos.

**Figura 9: Luminaria de techo madera Cossano. [11]**



Fuente: <https://monsoybenet.com//> monso y Benet «Lámpara Techo Madera cossano» 2019 [En Línea].

**Tabla 4: Descripción de elementos lámpara colgante Cossano**

No	Parte	Descripción
1	<b>Anclaje para luminaria de techo</b>	Elemento que se empotra al techo y se encarga de soportar la carga de la luminaria, suele contener una platina perforada para sujeción a chazos o elementos anclados al techo.
2	<b>Ducto/Cable eléctrico</b>	Conexión entre el anclaje y la carcasa, suele encontrarse luminarias con un tubo o ducto que transporta el conductor eléctrico o también con conductores flexibles con prensa cables en sus puntas que cumplen a cabalidad la función de soporte.
3	<b>Roseta</b>	Dispositivo eléctrico encargado de contener la lámpara o la fuente emisora de luz, suelen ser de rosca E 27 para la conexión de la bombilla.



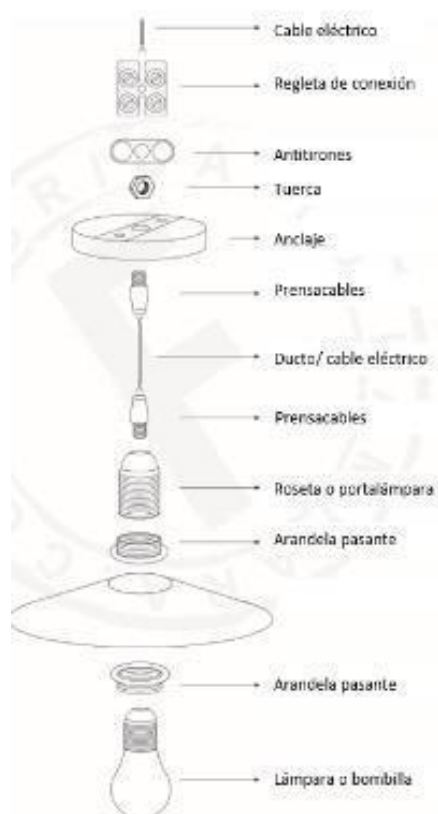
4	<b>Carcasa</b>	Elemento decorativo que además funciona como un deflector del flujo luminoso generado por la lámpara.
5	<b>Portalámparas</b>	Parte compuesta por anclaje, Ducto/cable y roseta, además contiene unas partes auxiliares como conector eléctrico, tuerca pasa muro y prensa cables.

Fuente: Autores

## 2.5 Partes de un portalámparas

Es necesario ilustrar los elementos auxiliares que componen un portalámparas, parte esencial de las luminarias colgantes, en la figura a continuación se relaciona un despiece del portalámparas.

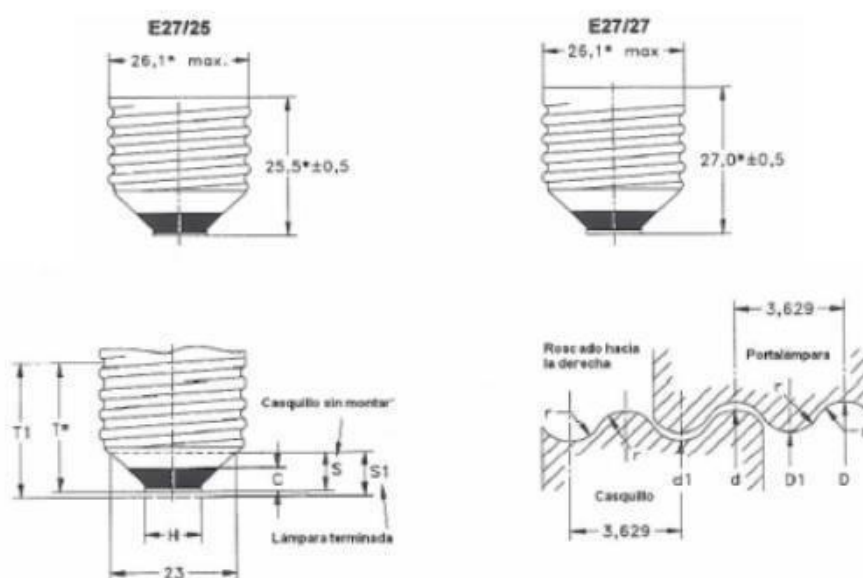
**Figura 10:** Parte de un portalámparas. [12]



Fuente: <https://www.fabricatulampara.com> «Que accesorios necesito para montar una lámpara colgante de techo» 22 febrero 2019 [En Línea].

El diseño de portalámparas no está sujeto al cumplimiento de directrices en cuanto al aspecto se refiere, únicamente se cumplirá con requisitos normativos estipulados por la norma IEC 60061-1 y el RETILAP. La roseta del portalámparas será de tipo Mogul y cumplirá con las dimensiones estipuladas en el RETILAP (Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público), sección 310.1.1 ‘Requisitos de producto’ para la conexión de bombilla LED E27. La imagen 11 ilustra las dimensiones estipuladas para los casquillos de conexión; allí se identifican 2 tipos de casquillos E 25 y 27, difieren en la altura de las roscas, una es de 25 mm y la otra de 27 mm.

**Figura 11: Dimensiones de casquillos de bombillas. [13]**



Fuente: <https://www.retilap.com.co> «dimensiones casquillos bombillas» 5 noviembre 2013 [En Línea].

## 2.6 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE LÁMPARAS

En comparación a las luminarias es más sencillo ubicar las clases y tipos de lámparas, en los siguientes numerales se hará mención a estos aspectos.

### 2.6.1 Clasificación de lámparas

La Comisión internacional de iluminación (CIE) en el numeral 29.2- segunda edición ‘Guía para la iluminación en interiores’ establece la clasificación de las lámparas acorde al índice de reproducción cromática (IRC o Ra: Hace referencia al porcentaje que tiene una fuente emisora de luz para reproducir los colores de los objetos, el 100% hace alusión a fuentes naturales de luz como el sol, desde aquí se deriva la clasificación conforme al efecto cromático de las lámparas [27]), de este modo se relaciona la tabla a continuación:

**Tabla 5: Clasificación de lámparas de acuerdo con el IRC [14]**

CLASE	Índice de reproducción de color (%)
1A	mayor a 90%
1B	80 - 89
2A	70 - 79
2B	60 - 69
3	40 - 59
4	menor a 20

Fuente: <https://www.retilap.com.co> Clasificación de lámparas «índice de reproducción de color» 06 abril 2010 [En Línea].

Puede considerarse este índice y clasificación como una manera de establecer la eficiencia de una fuente luminosa a la hora de instalarse en algún lugar, puesto que el porcentaje descrito en la tabla 4 refiere la capacidad de visibilidad que tendrá el usuario sobre los objetos alrededor; las lámparas de alta calidad serán fabricadas con un IRC mayor al 80% (clasificación 1A y 1B).

### **2.6.2 Tipos de lámparas**

Cabe resaltar que para abarcar la esencia de este proyecto todos los tipos de lámparas que se puedan emplear se encuentran en el campo de las fuentes lumínicas de carácter eléctrico; se establece el RETILAP en Colombia como documento normativo de obligatorio cumplimiento por los ingenieros y demás personajes que lleven consigo el diseño e implementación de sistemas lumínicos, esto haciendo alusión a lo establecido en el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, en el cual se describen diferentes tipos de lámparas usadas en el país.

El RETILAP en la sección 305 ‘Fuentes luminosas eléctricas’ del Capítulo 3, nombra los siguientes tipos de lámparas:

- Bombillas incandescentes
- Lámparas incandescentes halógenas
- Lámparas de mercurio de baja presión

- Lámparas fluorescentes compactas con balasto incorporado o con balasto independiente
- Lámparas de descarga de vapor de mercurio de alta presión
- Lámparas de halogenuros metálicos
- Lámparas de vapor de sodio
- Lámparas de inducción
- Diodos emisores de luz (LED), OLED (LEP)

Conforme a lo estipulado en el objetivo del presente proyecto se utilizarán lámparas tipo LED, las cuales se definen a continuación.

### 2.6.3 Lámparas LED, OLED (LEP)

Actualmente son los tipos de lámparas más usadas en la iluminación de interiores e incluso de luminarias ubicadas en la intemperie (exteriores); LED- Diodos emisores de luz, OLED -Diodos orgánicos emisores de luz: Son semiconductores que al usarse como lámparas convierten la energía eléctrica en fuentes emisoras de luz de alta eficiencia a bajo consumo eléctrico cumpliendo con los parámetros de eficiencia y eficacia estipulados en el RETILAP.

**Figura 12: Set de lámparas LED. [15]**



Fuente: <https://www.freepik.es> «set de lámparas led realistas» 2022 [En Línea]. Available: [https://www.freepik.es/vector-gratis/set-lamparas-led-realistas\\_3998601.html](https://www.freepik.es/vector-gratis/set-lamparas-led-realistas_3998601.html) [último acceso: 18 marzo 2022]

En la figura anterior se ilustra los diferentes tipos de lámparas LED, cuadradas, circulares, tubulares y usadas en forma de reflectores, es recomendable adoptar esta tecnología pues se aprovecha su flujo luminoso de forma directa (normalmente son de clase 1A) a bajo costo.

## 2.7 Ingeniería concurrente

No es un secreto que la fabricación de un producto o la puesta en marcha de un proceso productivo deben caracterizarse por ser competitivos e innovadores debido a la creciente globalización, la ingeniería concurrente es un proceso o series de metodologías sistematizadas que comprenden distintas etapas que guían la planeación y/o fabricación de productos conformes a la innovación, alta calidad y bajo costo, desde el punto de vista del diseño y el ciclo de vida que involucra el tiempo de fabricación hasta el tiempo de venta y uso final. Se destaca desde el diseño pues es allí donde se plasman las ideas ingenieriles de solución a alguna necesidad o requerimiento para el mercado en que se llegue a dinamizar el proceso o producto, es importante enfatizar que son metodologías aplicables para cualquier actividad económica.

La ingeniería concurrente abarca directrices o modelamientos sistemáticos de procesos que como objetivo buscan diseñar, fabricar y producir productos finales de acuerdo a requerimientos de usuarios o como método de emprendimientos para la generación de ideas de negocio; se adopta el diseño desde el punto de vista del ciclo de vida, crecimiento en valor agregado, mejoramiento de calidad con ahorro en costos desde su diseño pasando por la fabricación, montaje y comercialización, reiterando el concepto de ciclo de vida, el cual toma mucha importancia en la elaboración de un producto final, de este modo que se iban planteando las metodologías a continuación:

### Metodología RD (Diseño Robusto)

Herramienta desarrollada en Japón la cual busca a través de un buen proceso productivo la obtención del mejor producto final posible.

### Metodología JIT (Justo a tiempo)

Metodología que busca capacitar a los empleados de una línea productiva con el fin de volverlos autónomos en la solución de problemas y mejoras que se puedan presentar en el proceso productivo. De igual forma fue desarrollada en Japón.

### Metodología QFD (Función de la calidad)

En esta metodología se interactúa directamente con el cliente, el cual es quien hace los requerimientos de lo que se desea; mientras que un grupo de diseñadores con experiencia se centra en crear la mejor solución para el placer del o los clientes.

### □ **Metodología DFMA (Diseño para la fabricación y ensamble)**

La ingeniería inversa establece el DFMA como una metodología que destaca el mejor diseño de proceso para la obtención del mejor producto posible caracterizado por la facilidad de ensamble (modular) con un proceso de fabricación rápido y eficaz. En esta metodología se toma como herramienta el modelamiento del producto en software (CAD) realizado por uno o más diseñadores.

### □ **Metodología DFSS (Diseño para seis sigmas)**

Es una metodología novedosa que implícitamente usa las herramientas de las metodologías anteriores con el fin de obtener productos o procesos con cero fallas con técnicas sincronizadas evitando rechazos o atrasos en su funcionamiento.

Las anteriores metodologías pueden diferir en su modo de ejecución, pero su finalidad es similar por no asegurar que es la misma, se busca satisfacción del cliente a través de un producto novedoso e innovador que supla la necesidad del usuario con fabricación rápida a bajo costo sin reprocesos garantizando un formidable ciclo de vida con lo realizado, esto para hacer de las compañías competitivas en un mundo globalizado.

## **2.8 Metodología DFMA**

La metodología DFMA se incluye en la ingeniería concurrente como metodología de diseño que destaca todos los objetivos que se busca en un producto innovador, vanguardista, de fabricación rápida, montaje ágil con procesos a bajos costos, que permita ser puesto en el mercado con alto índice de competitividad. Como se ha descrito anteriormente se enfoca el proyecto en esta metodología para la construcción de los prototipos de luminarias en madera, buscando reducir costos y tiempo de fabricación de 30 a 40% acorde a estándares de construcción de elementos convencionales. Se ofrece la oportunidad de rediseñar productos existentes con la función de mejorar características de montaje, diseño y/o fabricación primando la sustitución de materiales, partes constitutivas y demás. La metodología centra el modo de investigación hacia 3 aspectos importantes:

- Producto
- Recurso humano
- Recursos materiales

En el producto se hace énfasis a los requerimientos que se desean cumplir y que en este proyecto se han de denotar en un registro o formato para cada tipo de luminaria destacando las características físicas y funcionales para cada una. El recurso humano hace referencia al análisis humano e ingenieril donde se involucra los diseñadores o desarrolladores del proyecto donde se interactúa con el fin de capacitar, asesorar y generar ideas para el cumplimiento de los objetivos propuesto en un proyecto DFMA; Por último, el estudio de materiales se realiza a través de tecnologías de información, modelamientos 3D, software de

simulación, diseño de prototipos, esto con el fin de entablar una relación entre lo viable e inviable en cuanto a mercadeo corresponde.

Cabe resaltar que la finalidad en conceptos y objetivos del DFMA se resume en la construcción a bajo costo donde la inversión se caracterice por recuperarse en corto tiempo, obteniéndose posteriormente las ganancias de una posible producción en masa; igualmente mejorar procesos de fabricación y montaje a bajo costo con buenos índices de calidad, esto hace viable la elaboración de un proyecto con la metodología DFMA propuesta y a ejecutar en este proyecto.

## **2.9 Ingeniería inversa**

Este proyecto relaciona otra metodología de investigación y diseño, la ingeniería inversa, así como su nombre lo indica consiste en análisis o planteamientos ingenieriles realizados ‘al revés’ sobre un proceso productivo o producto final; esto no quiere decir que se deba confundir con aquel concepto de plagio, puesto que la finalidad aparte de estudiar minuciosamente cada componente de producto o proceso se DEBE buscar las mejoras a cada uno con el fin de ser competitivo, así es que muchas compañías a nivel global aplican este método sobre productos ajenos con el objetivo de mantenerse a la vanguardia a puertas de la globalización.

Anteriormente se hizo alusión a la Ingeniería concurrente la cual identifica una metodología de diseño convencional basado en requerimientos de usuarios para así diseñar y fabricar el producto más acertado para suplir la necesidad que se solicita, de esta se desprende la metodología DFMA que implícitamente relaciona la ingeniería inversa como método de solución desde el análisis de un producto final de referencia, pasando por el re diseño hasta llegar a un nuevo elemento con características similares al analizado y que pueda satisfacer las necesidades del cliente.

La ingeniería inversa ha sido aceptada a nivel global como un proceso para analizar productos ya existentes y ofrecer un nuevo dispositivo o proceso en el mercado con mejoras estructurales y/o funcionales, por este y otros motivos cada vez se involucran herramientas de alta tecnología para la obtención o recopilación de datos en base a los productos o procesos analizados. Actualmente se cuenta con la digitalización en 3D a través de software o programas especializados para analizar dimensiones, formas, reconstruir superficies, entre otros; Sistemas como CAM, CAM, CAE comparten la característica de que son programas asistidos por computadora y muy útiles para la ingeniería inversa. De igual forma es necesario modelar diseños de productos mediante un software CAD pues es así como un grupo de diseñadores presentará de forma útil y eficaz un producto antes de ser fabricado.

## **3 ESTADO DEL ARTE**

En el entorno investigativo el estado del arte contextualiza, clasifica y categoriza los datos e información hacia la resolución en específico de lo que se desea en el proyecto, para efectos del desarrollo de la metodología DFMA se contextualiza al lector mediante la descripción de un caso en el cual se implementa el ‘diseño para la fabricación y ensamble’

y que se describe a continuación. Como anteriormente se hizo mención la compañía FORD fue una de las primeras en aplicar la metodología DFMA en sus procesos productivos, a continuación, se ilustra el sistema de aire acondicionado Fairmont/Zephyr rediseñado en 1986.

**Figura 13: DFMA aplicado al aire acondicionado Fairmont/Zephyr. [16]**

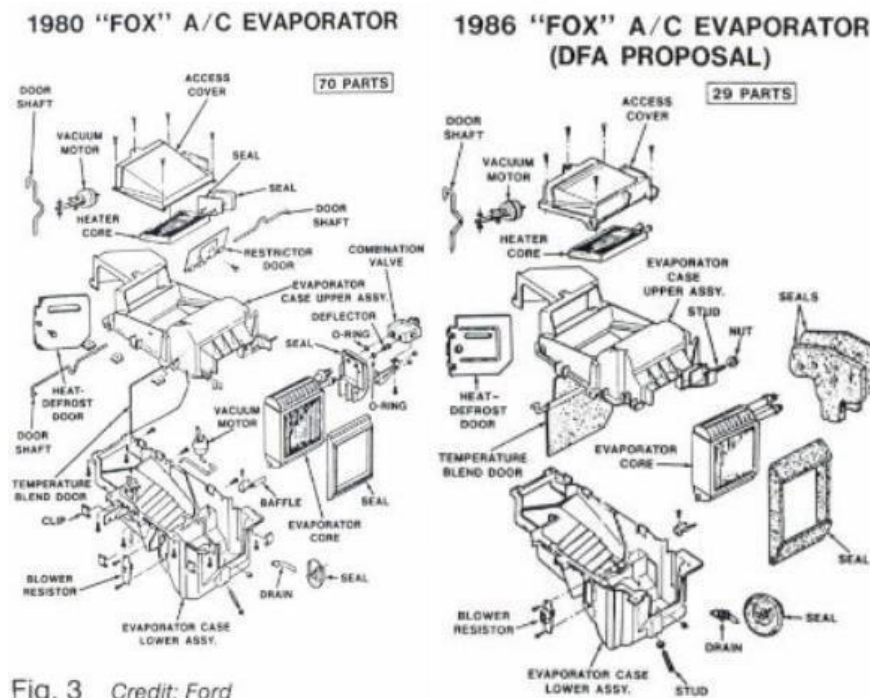


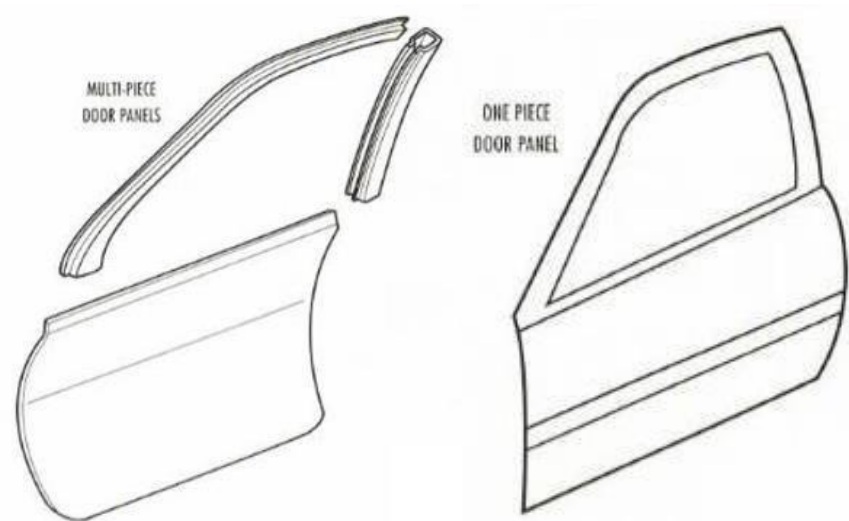
Fig. 3 Credit: Ford

Fuente: Document, w. (2018). *Word document*. Obtenido de AUTOMOTIVE INDUSTRIES - DFMA DFMA.AND IT'S BECOMING A WAY OF LIFE IN MANY AMERICAN INDUSTRIES: <https://fdocuments.net/document/automotive-industries-dfmadfmaand-itsbecoming-a-way-of-life-in-many-american.html?page=3>

En la imagen anterior se hace una comparación entre el ensamble normal de un sistema de aire acondicionado de un automóvil *Ford Ranger* y el resultado de aplicar la metodología a la fabricación y ensamble del mismo elemento, para este análisis se utilizó en su momento el software BDI (Belief Desire intention) y mediante el cual se obtuvo una disminución del costo de ensamble del 20% y un 59% en reducción de componentes. Otro aspecto que involucro transformación fue las puertas de los automóviles.



**Figura 14: DFMA aplicado a la fabricación y ensamble de una puerta. [17]**



Fuente: Document, w. (2018). *Word document*. Obtenido de AUTOMOTIVE INDUSTRIES - DFMA AND IT'S BECOMING A WAY OF LIFE IN MANY AMERICAN INDUSTRIES: <https://fdocuments.net/document/automotive-industries-dfmadfmaand-its-becoming-a-wayof-life-in-many-american.html?page=3>

Es evidente como fue en su momento la importancia de la metodología, se puede concluir que a partir de esta se fabrica una puerta como solo una pieza sustituyendo el proceso de ensamble de 3 partes como regularmente se hacía antes de que la compañía FORD adoptara la metodología. En este proyecto se destacará los pasos sistemáticos propuestos en la guía metodológica donde debe primar unos principios desde el DFMA para el diseño que deberán:

- Facilitar la fabricación y ensamble de nuevos diseños
- Disminución de costos en ensambles de componentes
- Disminuir uso de utillajes e inversiones
- Unificación de componentes con el fin de evitar tornillerías u otros componentes de unión.

## 4 DESARROLLO DE PROYECTO

### 4.1 Enunciado

Se requiere diseñar y fabricar dos prototipos de luminarias colgantes en madera para decoración de interiores mediante metodología DFMA e ingeniería inversa como método de solución, las luminarias tendrán unas dimensiones mínimas de 0,60x0,60x0,60 m y permitirán conectar una lámpara o bombilla E27 tipo LED de 30 W de potencia; con el fin de iluminar recintos oscuros en interiores de hogares, comercios u otros.

### 4.2 Funciones

Iluminación de interiores entre 100 y 200 Lx (Luxes)

### 4.3 Requisitos

- Se asignará un nombre a los diseños de los prototipos conforme a las características planteadas mediante unos bosquejos iniciales de diseño.
- Deberán iluminar y decorar interiores de hogares, comercios, zonas comunes cumpliendo los criterios de normatividad vigente en el país.
- Acorde a requerimientos normativos locales para este tipo de luminaria se contempla un rango de flujo luminoso entre 100 y 200 Luxes con un factor de deslumbramiento de 25 UGR
- La luminaria tendrá dimensiones mínimas de 60x60x60 cm.
- Las luminarias serán colgantes (anclada al techo), estáticas sin sometimiento a movimientos constantes.
- El prototipo no estará sometido a fuerzas considerables a excepción de su propio peso.
- El portalámparas deberá soportar una fuerza a la torsión de 2.26 N como mínimo.
- Se podrá conectar a un sistema ELÉCTRICO monofásico trifilar (Línea, Neutro y Tierra) con voltaje nominal de 120 VAC.
- La potencia máxima de las luminarias será de 30 W y permitirá la conexión de bombillas LED E27 en roseta tipo Mogul.
- Los conductores eléctricos deberán cumplir con los criterios de consumo eléctrico denotados en la NTC 2050
- Las carcasas de las luminarias serán fabricadas netamente en madera destacando la elección entre 4 tipos de madera (Triple de Pino, MDF, Cedro o flor morado).
- Se identificarán materiales alternativos para el sistema del portalámparas que cumpla con las condiciones de diseño modular estipuladas
- Se controlará el encendido o apagado desde sistemas de control “on/off” (interruptores).
- Se implementa la metodología DFMA donde se destaca el diseño y ensamble MODULAR, teniendo en cuenta las directrices propuestas para esta técnica.

- Los ensambles destacarán ajustes deslizantes o con traba mecánica, estos con el fin de evitar el desarmado repentino durante funcionamiento.
- Se deberán aplicar algún método de recubrimiento que permita dar un amplio tiempo de vida al producto y que destaque la naturaleza de la madera elegida.
- El mantenimiento involucra únicamente limpieza y cambio de bombilla por vida útil.
- Los costos generados se desprenden de la transformación de la madera, abarcando los utillajes para la fabricación y montaje como lo son las guías donde no se sobrepase el millón de pesos (1000000 m/cte.).
- Se contará con la materia prima desechada por la empresa Tablecortes S.A.
- Las luminarias colgantes deberán cumplir con los criterios de iluminación estipulados en el RETILAP o en la ISO 6519:1
- Se deberá describir métodos de anclaje seguros para el montaje de la lámpara.
- NO deberá tener bordes cortantes ni astillas u otro aspecto que genere riesgo de accidentes.
- Los diseños de las lámparas deberán ser innovadores y originales, no existirá copia o plagio de otros prototipos.

#### 4.4 Criterios de selección:

- **Fabricación y ensamble:** Las luminarias tendrán un proceso de fabricación automático que pueda facilitar eficazmente el ensamble de los componentes en forma MODULAR.
- **Costo:** Preferiblemente el costo de la fabricación deba ser bajo con el fin de poder comercializar los productos a un cómodo valor.

Es conveniente relacionar el cumplimiento de los objetivos específicos planteados inicialmente y que se relacionan también como requerimientos o requisitos, identificándose en la tabla a continuación el numeral y página donde se cumplen en la ejecución de la guía metodológica.

**Tabla 6: Identificación de cumplimiento de los objetivos específicos.**

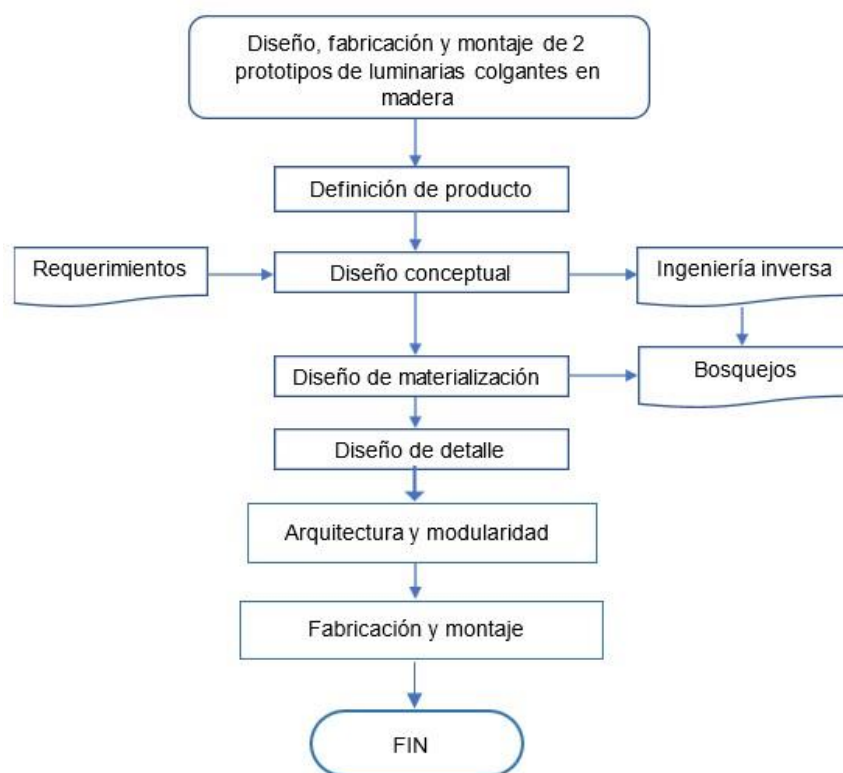
No.	Objetivo Especifico	Prototipo	Numeral
1	Definir la geometría de las luminarias aplicando metodología de ingeniería inversa	Luminaria 1	Numeral 5.2.3
		Luminaria 2	Numeral 6.2.3
2	Determinar demás materiales complementarios al cedro, pino, flor morado y MDF para la fabricación de las lámparas	Luminaria 1	Numeral 5.4.3
		Luminaria 2	Numeral 6.4.3
3	Seleccionar los componentes eléctricos de iluminación adecuados, de acuerdo con	Luminaria 1	Numeral 5.4.3

3	estándares de seguridad, factor de deslumbramiento, nivel de luxes permitidos de acuerdo con NTC 2050 y RETILAP	Luminaria 2	Numeral 6.4.3
4	Diseñar y construir los componentes estructurales de las lámparas de acuerdo con los lineamientos de la metodología DFMA	Luminaria 1	Numeral 5.1 a Numeral 5.6
		Luminaria 2	Numeral 6.1 a Numeral 6.6
5	Elaborar el diseño de las lámparas junto a los planos de despiece, planos de plantillas, planos de guías y ensamble en CAD.	Luminaria 1	Ver planos en Anexos
		Luminaria 2	Ver planos en Anexos
6	Escoger el material y fabricar las plantillas y guías de ensamble que faciliten la elaboración de los componentes de las lámparas	Luminaria 1	Numeral 5.6.2
		Luminaria 2	Numeral 6.6.1
7	Elaborar el documento descriptivo y de soporte del diseño, fabricación y ensamble de las lámparas	Luminaria 1	Presente documento
		Luminaria 2	Presente documento

Fuente: Autores

A partir de este capítulo se ejecuta paso a paso el procedimiento para la fabricación de los dos prototipos de luminarias colgantes en madera mediante la metodología DFMA, para su ejecución se ha seleccionado una guía metodológica que se encuentra en internet con título: ***‘Diseño para fabricación y ensamble’*** editado por la fundación Pro dintec (Centro tecnológico para el diseño y la producción industrial de Asturias); este documento fue seleccionado por su versatilidad y dinamismo para plasmar ideas al diseñador y fabricante con la descripción sistemática de esta metodología; es importante relacionar el flujo de proceso para el objetivo planteado en este proyecto, flujograma ilustrado a continuación:

**Figura 15: Flujograma de proceso metodología DFMA.**



Fuente: Autores

El anterior flujograma es el proceso en el cual se plantean las características a seguir desde el punto de vista del DFMA, cada paso se describe a medida que se desarrolla cada producto. Para cada luminaria el *equipo de trabajo* se centrará en los autores de este documento que tendrán la función de diseñadores y fabricantes en cumplimiento de los requerimientos o requisitos planteados inicialmente.

## 5 DISEÑO, FABRICACION Y MONTAJE DE LUMINARIA 1.

De acuerdo a la guía metodológica desde el capítulo 3 se establece la definición del producto, el diseño conceptual, el diseño de materialización y el diseño de detalle para el desarrollo del producto; De esta forma se obtendrá el bosquejo final del prototipo junto a la descripción de cada componente.

## 5.1 PRIMER PASO: Definición de producto

En el numeral 3.1 de la guía metodológica se estipula la creación de un documento con una serie de requerimientos establecidos por el usuario en los cuales se pueda aplicar desde el ámbito ingenieril alternativas de solución para el desarrollo del primer prototipo de luminaria; de este modo establecen las especificaciones y requerimientos del primer prototipo.

### 5.1.1 Especificación del producto

De acuerdo con el numeral 3.1.1 del texto guía se determina los requerimientos y deseos para el primer prototipo de luminaria, que corresponden a los puntos y/o condiciones que se deben cumplir para satisfacer las especificaciones y requisitos que definen el diseño y la fabricación del elemento que se busca ser implementado. Estos requerimientos se han dividido en 14 aspectos a cumplirse por parte del diseñador y/o fabricante de tal manera que se obtenga la opción de diseño más acertada con lo deseado, entre estos aspectos están: su función, dimensiones, movimientos, fuerzas, materiales, señales de control, fabricación y montaje, vida útil y mantenimiento, transporte, costos, seguridad e impacto ambiental.

### 5.1.2 Modelo de documento de especificación

A Continuación, se relaciona el documento que relaciona los requisitos planteados inicialmente y clasificadas en las 14 categorías mencionadas en el numeral anterior.

**Tabla 7: Requerimientos de usuario para fabricación de luminaria 1.**

LUMINARIA COLGANTE EN MADERA 1		
<b>EMPRESA</b>	Tablecortes S.A.	
<b>OBJETIVO</b>	Describir los requerimientos mínimos a cumplir por el primer prototipo de luminaria colgante en madera.	
<b>No</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>Descripción</b>

1	<b>Funcionales</b>	Se asignará un nombre al primer diseño del prototipo conforme a las características planteadas mediante unos bosquejos iniciales de diseño.
		Este prototipo deberá iluminar y decorar interiores de hogares, comercios, zonas comunes cumpliendo los criterios de normatividad vigente en el país.
		Acorde a requerimientos normativos locales para este tipo de luminaria se contempla un rango de flujo luminoso entre 100 y 200 Luxes con un factor de deslumbramiento de 25 UGR
2	<b>Dimensiones</b>	Como mínimo la luminaria tendrá dimensiones mínimas de 60x60x60 cm.
3	<b>Movimientos</b>	La luminaria será colgante (anclada al techo) por lo tanto será un elemento estático sin sometimiento a movimientos constantes.
4	<b>Fuerzas</b>	El prototipo no estará sometido a fuerzas considerables a excepción de su propio peso.
		El portalámparas deberá soportar una fuerza a la torsión de 2.26 N como mínimo.
5	<b>Energía</b>	Se podrá conectar a un sistema ELÉCTRICO monofásico trifilar (Línea, Neutro y Tierra) con voltaje nominal de 120 VAC.
		La potencia máxima de la lámpara será de 30 W y permitirá la conexión de bombillas LED E27 en roseta tipo Mogul.
		Los conductores eléctricos deberán cumplir con los criterios de consumo eléctrico denotados en la NTC 2050

6	<b>Materiales</b>	La carcasa de la luminaria será fabricada netamente en madera destacando la elección entre 3 tipos de madera (Tríplex o retal de Pino, Cedro o flor morado) con espesor de 6 mm, primando esta elección desde el aspecto físico de la madera.
		Se identificarán materiales alternativos para el sistema del portalámparas que cumpla con las condiciones de diseño modular estipuladas
7	<b>Señales y control</b>	Se controlará el encendido o apagado desde sistemas de control “on/off” (interruptores)
8	<b>Fabricación y montaje</b>	Se implementa la metodología DFMA donde se destaca el diseño y ensamble MODULAR, teniendo en cuenta las directrices propuestas para esta técnica.
		Los ensambles destacarán ajustes deslizantes o con traba mecánica, estos con el fin de evitar el desarmado repentino durante funcionamiento.
9	<b>Transporte</b>	La luminaria contará con su respectivo empaque para ser embalado o distribuido conforme a sus características.
10	<b>Vida Útil y mantenimiento</b>	Se deberá aplicar un método de recubrimiento que permita dar un amplio tiempo de vida al producto de hasta 10 años y que destaque la naturaleza de la madera elegida.
		El mantenimiento involucra únicamente limpieza y cambio de bombilla por vida útil.
11	<b>Costos/Plazos</b>	Los costos generados se desprenden de la transformación de la madera, abarcando los utillajes para la fabricación y montaje como lo son las guías donde no se sobrepase el millón de pesos (1000000 m/cte.).
		Se contará con la materia prima desechada por la empresa Tablecortes S.A.
12	<b>Seguridad</b>	Las luminarias colgantes deberán cumplir con los criterios de iluminación estipulados en el RETILAP o en la ISO 6519:1



		Se deberá describir métodos de anclaje seguros para el montaje de la lámpara.
		NO deberá tener bordes cortantes ni astillas u otro aspecto que genere riesgo de accidentes.
13	<b>Impacto ambiental</b>	Como se ha descrito se aprovechará residuos que no se utilizan por la empresa Tablecortes para la fabricación de las carcasas, esto trae un impacto beneficioso al control de basuras y al uso del retal de madera desechado.
14	<b>Aspectos legales</b>	Los diseños de las lámparas deberán ser innovadores y originales, no existirá copia o plagio de otros prototipos.

Fuente: Autores

La anterior tabla relaciona un documento de especificaciones para que el o los diseñadores tengan presente las principales características a evaluar en la fabricación y montaje del primer prototipo de luminaria colgante en madera.

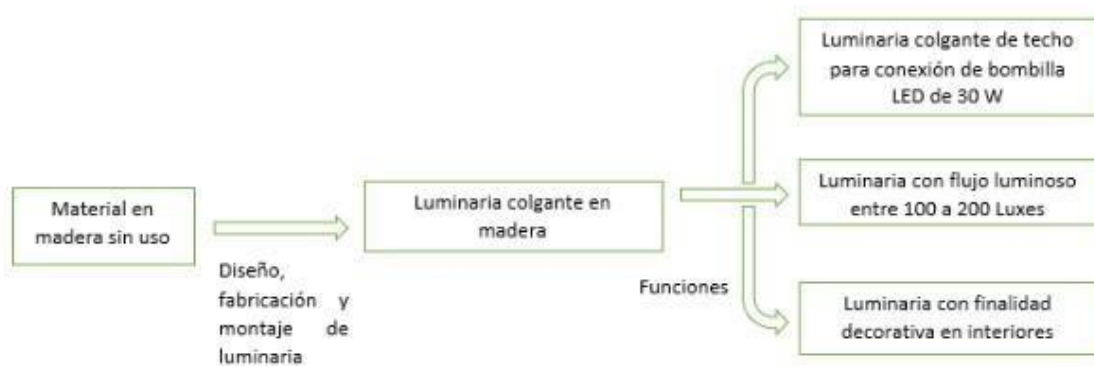
## 5.2 SEGUNDO PASO: Generación del concepto (Diseño conceptual)

Conforme al numeral 3.2. De la guía metodológica se establece el diseño conceptual del primer prototipo de luminaria basándose en los métodos de solución para y los requerimientos de usuario determinados anteriormente; además, de describir con métodos o estructuras funcionales el modo de operación para el diseño y fabricación del prototipo de luminaria. El proceso con el que se plantea la solución a lo requerido se estipula en los siguientes numerales.

### 5.2.1 Estructura funcional

Para el desarrollo del diseño conceptual el texto guía en el capítulo 3 numeral 3.2.1 propone como herramienta fundamental la realización de un diagrama de bloques donde se especifique la o las funciones del elemento a fabricar.

**Figura 16: Diagrama funcional de modelo de luminaria.**





Fuente: Autores

### 5.2.2 Generación de principios de solución

La guía plantea el desarrollo de la creatividad y el entendimiento de las subfunciones del producto a desarrollar; además de métodos discursivos y objeto de este proyecto puesto que es acá donde se aplica el proceso de *ingeniería inversa* como principio de solución con el fin de estudiar e identificar aspectos funcionales y de diseño en luminarias colgantes en madera ya existentes.

Es posible encontrar decenas de luminarias colgantes en madera desde la página WEB 'PINTEREST'; allí se seleccionan cinco luminarias con el fin de analizar y establecer aspectos críticos de diseño que sirvan para enriquecer el modelo conceptual del primer prototipo de luminaria a fabricar.

**Tabla 8: Luminarias colgantes en madera para análisis de Ingeniería inversa.**

No	Nombre de Luminaria	Diseño	Características
1	<p>Luminaria colgante calada Aprilla [32]</p>		<p>En el diseño se ilustra una luminaria la cual se ofrece a 126 euros por la compañía polaca SOLLUX, se connota un portalámparas en PVC a excepción del cable eléctrico y la carcasa completamente en madera; además se evidencia la bombilla o lámpara que de allí se suspende.</p> <p>La carcasa tiene 36 listones alrededor de los portalámparas todos iguales; además de 2 discos de soporte (Superior e inferior) y de un portalámparas (E27) de cable flexible.</p>
2	<p>Luminaria colgante en madera Cossano [33]</p>		<p>Se refiere un tipo de luminaria finlandesa que ofrece unas características laminares y de ensamble modular destacando un diseño radial o esférico con arreglo simétrico estándar en el montaje de sus láminas o listones alrededor de la porta bombilla; se caracteriza por ser un diseño minimalista donde se destaca lo básico y esencial de la luminaria.</p> <p>La carcasa posee 24 listones semicirculares idénticos al igual que 2 discos de sujeción y el portalámparas con ducto metálico.</p>

3	<p><b>Luminaria colgante en madera clara [34]</b></p>		<p>El diseño muestra una luminaria con dos discos (superior e inferior) que sujetan y soportan 34 listones rectangulares que componen la carcasa junto al portalámparas; se representa un diseño minimalista destacando la simetría, sencillez y sutilidad con un gran potencial decorativo para interiores.</p> <p>La particularidad de esta luminaria es que su portalámparas (E27) posee un cable trenzado flexible sujeto al disco superior.</p>
4	<p><b>Luminaria colgante silueta de flor [35]</b></p>		<p>Esta luminaria posee 3 discos de sujeción (superior, medio e inferior) su portalámparas posee un cable trenzado para conexión de bombilla con rosca E27. Su carcasa tiene 40 listones idénticos con muescas para sujetarse a los diferentes discos.</p>
5	<p><b>Luminaria colgante Cherry [36]</b></p>		<p>Se ilustra un bello diseño minimalista, ecológico y orgánico (que se basa en la naturaleza) que resalta en cualquier ambiente; tiene un arreglo esférico con 20 listones y dos discos de sujeción.</p>

6	<b>Luminaria colgante en cristal [37]</b>		<p>La luminaria colgante llama la atención por su carcasa de cristal en forma de PIÑA. Se destaca su arreglo en la corona y los picos que conforman el cuerpo del fruto y que están fabricados en cristal. El portalámparas se caracteriza por su color cobrizado resaltando aún más la belleza de esta luminaria.</p>
---	---	---	--

Fuente: Autores

El proceso de ingeniería inversa permite evaluar cada diseño ilustrado anteriormente y obtener ideas las cuales se adaptan y mejoran con el fin de obtener el diseño conceptual del primer prototipo de luminaria, ahora se relacionan los aspectos que llaman la atención y son importantes para el desarrollo del diseño:

**Tabla 9: Características de luminarias a analizar.**

Luminaria	Aspectos importantes	Ideas obtenidas y mejoras
1	<p>Del primer diseño se destaca la silueta y el arreglo simétrico que esta conlleva; además el color claro de la madera connota un buen detalle para decoración de interiores</p>	<p>Desde la perspectiva la luminaria 1 vislumbrará una forma simétrica alrededor del portalámparas</p>
2	<p>La luminaria colgante cossano ilustra 2 discos dentados de sujeción y un solo listón que se replica en 24 unidades iguales</p>	<p>Para el primer prototipo de luminaria se estipula por lo menos un disco inferior y uno superior para sujeción de los listones, además un listón estándar el cual se replicará inicialmente 24 veces</p>

3	Se evidencia en esta luminaria la tediosa tarea de ensamblar cada listón a los discos; además de establecerse algún tipo de pegamento para la unión de piezas.	El diseño de la luminaria deberá mejorar el tipo de acople entre los discos y los listones, esto con el fin de reducir tiempos en la actividad de ensamble. Se propones incrustar los discos en los listones y ser ajustados con algún tipo de traba mecánica. No se admitirá tornillería ni pegamentos para unión de piezas.
4	De la luminaria con silueta de flor es llamativo un tercer disco (intermedio) que servirá como soporte de los listones en la carcasa; también se corroboran las características al diseño de la luminaria 3.	Si aplica, optar por un tercer disco de sujeción conforme al diseño lo requiera.
5	Este diseño minimalista y orgánico es un punto de referencia para establecer el primer prototipo de luminaria.	Se relaciona la fabricación de algún tipo de fruta que sea apta para la fabricación y decoración de interiores. Se contempla el uso de portalámparas con cable flexible.
6	De esta luminaria se extrae la idea de fabricar una carcasa con forma de piña. La ubicación de la bombilla se evidencia en todo el centro de la carcasa.	El diseño de la luminaria tendrá forma de piña, será fabricada en madera con su respectivo listón y discos de sujeción. Se busca que la lámpara se ubique en el centro de la carcasa.

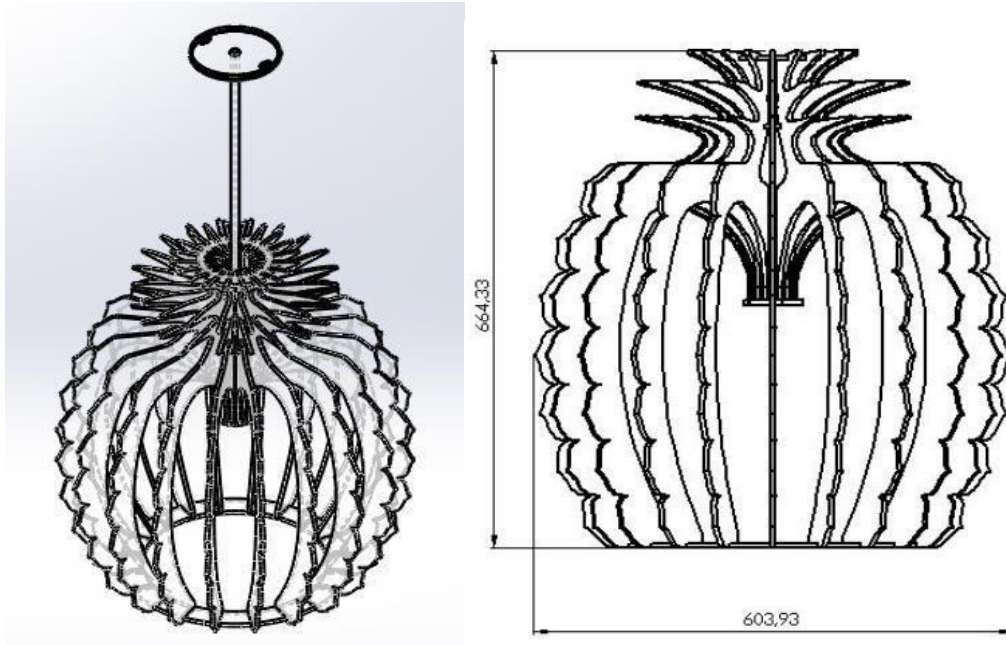
Fuente: Autores

### **5.2.3 CONCEPTO PARA EL DISEÑO DE LA LUMINARIA 1:**

1. El diseño contempla como mínimo un disco inferior de sujeción y uno superior
2. Se diseñará 1 listón estándar y este se replicará 24 veces para la carcasa de la luminaria
3. El disco superior servirá de soporte para sujeción del portalámparas de cable flexible
4. El diseño final tendrá características minimalistas y simétricas estándar donde se permita el flujo luminoso desde la bombilla hacia el exterior, además de estar ubicado en el centro de la carcasa
5. La disposición de la carcasa será de forma radial donde visualmente se vislumbre la figura de una PIÑA alrededor del portalámparas.

6. El diámetro mínimo de la carcasa tendrá una dimensión de 60 cm y de esta forma se genera el siguiente bosquejo.

**Figura 17: Bosquejo de prototipo luminaria 1 - 'La piña'.**



Fuente: Autores

### 5.3 TERCER PASO: Diseño de materialización

El diseño de materialización establece una serie de etapas (propuesta por Pahl y Beitz) donde se contempla la ejecución paso a paso para la evaluación del mejor diseño gráfico que se desea ejecutar.

#### 5.3.1 Etapa 1: Identificar requerimientos limitadores

Este prototipo de luminaria cumple requisitos generales que limitan los parámetros de diseño haciendo más fácil su determinación, entre estos aspectos limitadores se encuentran:

**Tabla 10: Requerimientos limitadores de diseño.**

ASPECTOS	LUMINARIA 1 - LA PIÑA
<b>Funcionales</b>	El diseño identificará una luminaria colgante en madera para iluminación y decoración de interiores.
<b>Prestaciones exigidas (fuerzas)</b>	Masa máxima de <i>carcasa</i> estimada 5 kg
<b>Dimensiones</b>	Medidas mínimas de 60 x 60 x 60 cm.
<b>Exigencias ergonómicas (Seguridad)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No bordes corto punzante, o astillas.</li> <li>• Descripción de métodos de anclaje efectivos al techo (chazos metálicos o plásticos).</li> <li>• El deslumbramiento de la luminaria no deberá superar los 25 UGR.</li> <li>• Iluminancia entre 100 y 200 Luxes.</li> </ul>
<b>Incidencias ambientales</b>	No deberá generar algún tipo de contaminación ambiental o riesgo a usuarios
<b>Tecnologías disponibles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Métodos de corte:</b> el corte por láser se contempla en el proceso de fabricación.</li> <li>• Plantillas para fabricación y guías de ensamble</li> </ul>
<b>Mantenimiento</b>	Se recurrirá a un recubrimiento con el fin de evitar mantenimientos.
<b>Limitaciones de costo</b>	Se plantea un presupuesto máximo para la fabricación de la luminaria de 1000000 de pesos.

Fuente: Autores

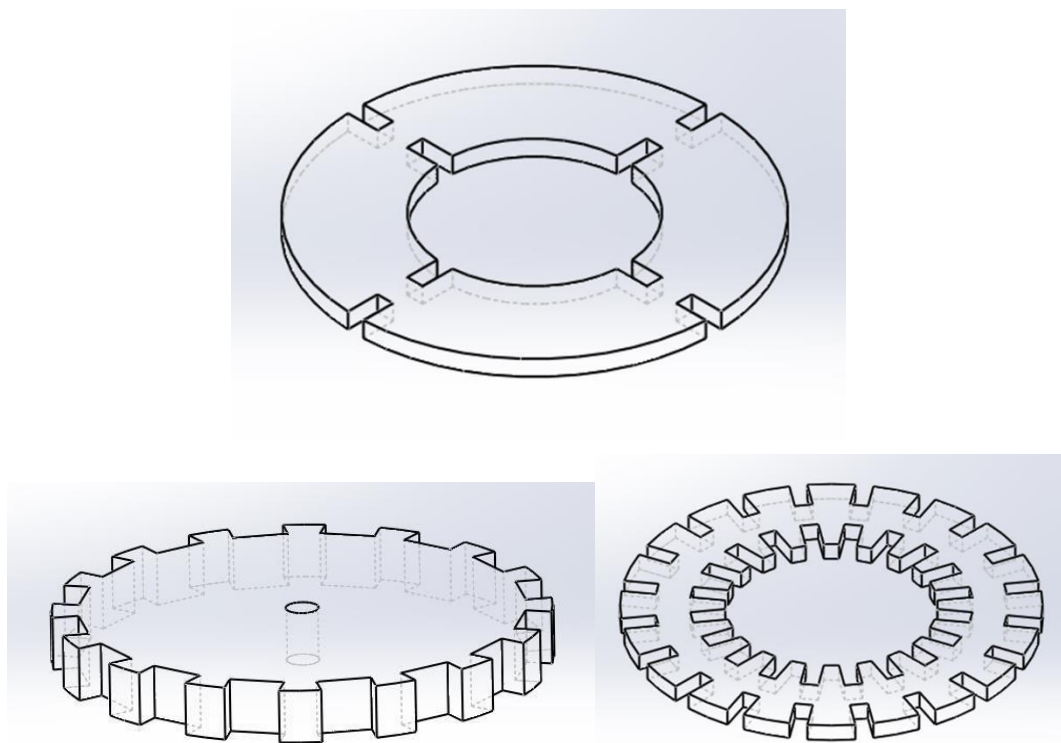


### 5.3.2 Etapa 2: Funciones y parámetros críticos

Esta luminaria tendrá un diseño innovador y atractivo a la vista para decoración de interiores, siendo *la carcasa* el punto crítico de diseño, pues es allí donde se desea implementar el concepto de ‘modularidad’. A continuación, se ilustran unos bosquejos realizados a ensayo y error de los aspectos críticos de la carcasa (disco superior de anclaje, disco inferior, disco intermedio y listones) modelamientos realizados en SolidWorks.

□ *Disco superior de anclaje*

**Figura 18: Modelamientos iniciales disco superior 1 y 2 (inicio-final).**



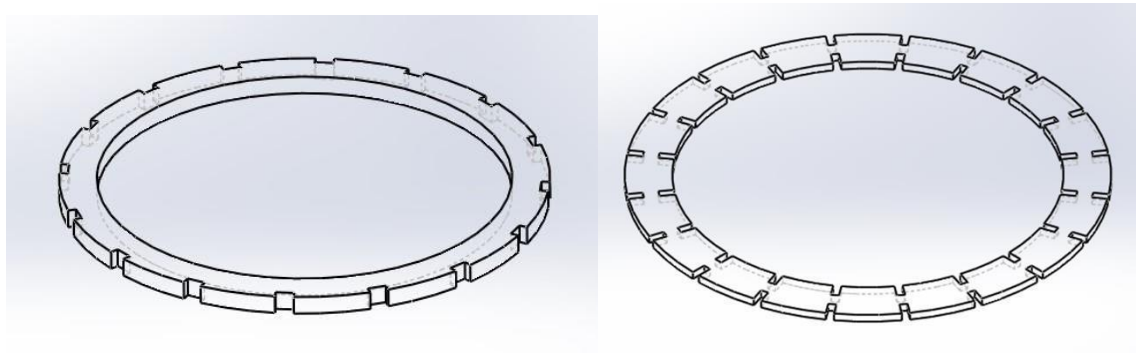
Fuente: Autores

**Tabla 11: Descripción de diseño disco superior.**

PROCESO	DESCRIPCION
<i>Software</i> <b>SOLIDWORKS</b>	Lo primero que se debe hacer es crear un plano de planta, el programa tiene la opción 'croquis' el cual permite dibujar dos círculos, se deben acotar con las medidas requeridas del disco superior, en 'operaciones' se debe 'extruir saliente/base' hasta dar la forma de aro, luego se procede a acotar las partes que permiten extruir el corte y permite ensamblar el listón y tener el aro superior terminado.

Fuente: Autores

□ **Disco inferior de anclaje**

**Figura 19: Modelamientos iniciales disco inferior (Inicio - final).**

Fuente: Autores

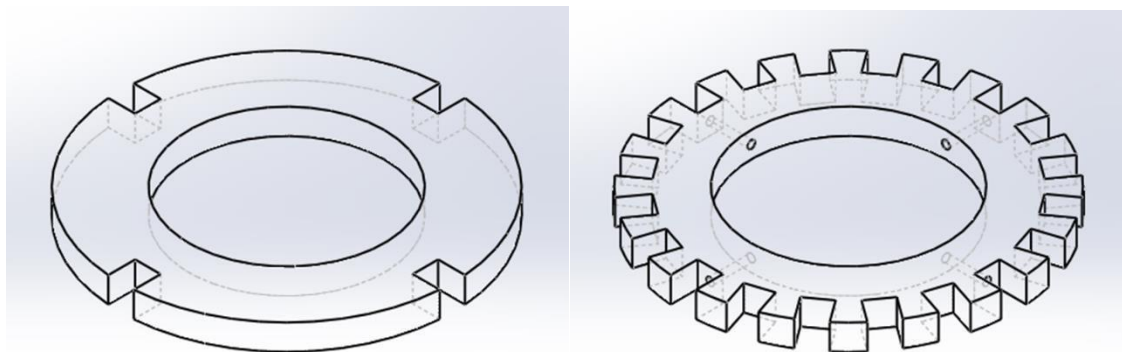
**Tabla 12: Descripción dibujo discos inferiores.**

PROCESO	DESCRIPCION
<i>Software</i> <b>SOLIDWORKS</b>	Se realiza el aro inferior creando un plano de planta, en 'croquis' se dibuja dos círculos con las medidas correspondientes a el diseño, en operaciones se debe 'extruir saliente/base' hasta dar con el grosor del aro, se dibujan y se extruye los orificios requeridos en donde el listón ensambla y se apoya para dar forma al disco inferior.

Fuente: Autores

- *Disco intermedio de sujeción*

**Figura 20: Modelamiento disco intermedio (Inicio - final).**



Fuente: Autores

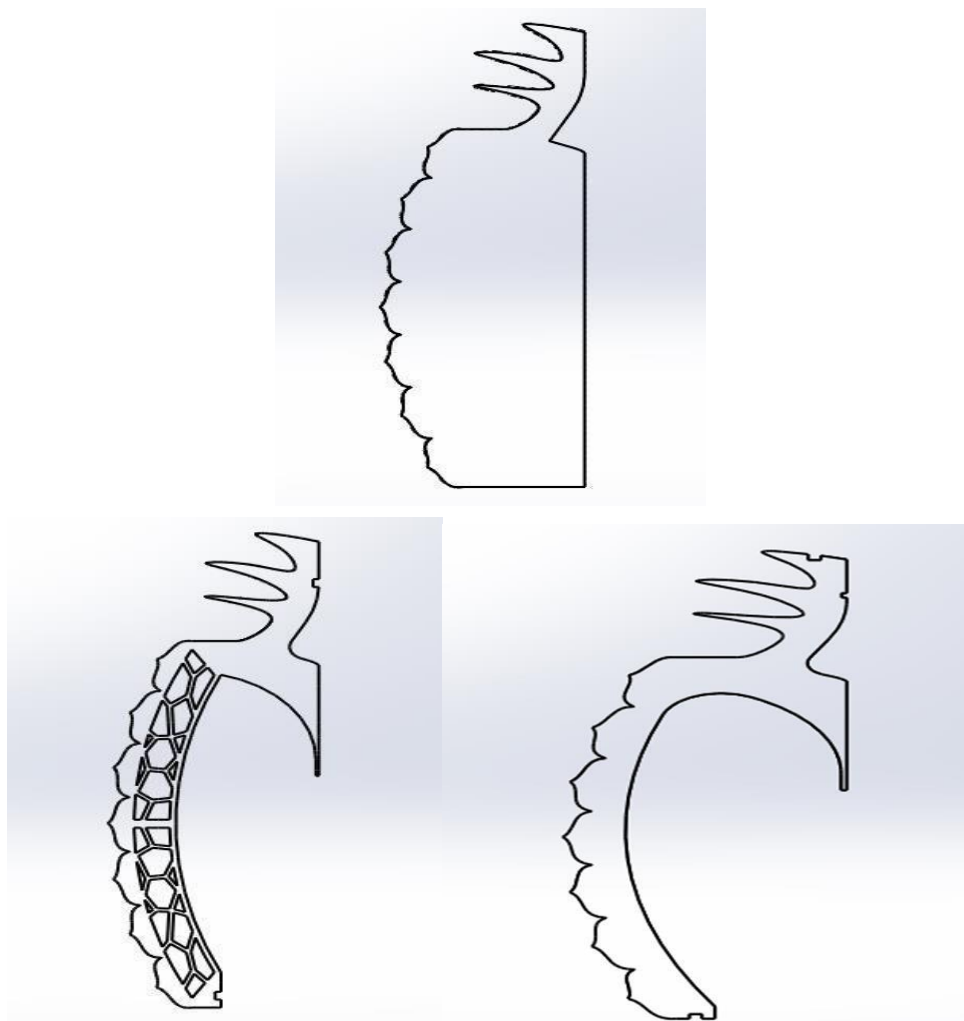
**Tabla 13: Descripción dibujo discos inferiores.**

PROCESO	DESCRIPCION
<p><i>Software</i> <b>SOLIDWORKS</b></p>	<p>Para el disco intermedio de sujeción de debe crear un plano de planta, luego en croquis se dibujan dos círculos donde se acotan a la medida requerida en el diseño, en operaciones se extruye saliente/base hasta llegar a el grosor indicado del aro, en croquis se dibujan las líneas que permite extruir el corte y dar con la forma donde el listón se ensambla correctamente.</p>

Fuente: Autores

- *Listón*

**Figura 21: Modelamientos 1 y 2 de listones decorativos (Inicio - final).**



Fuente: Autores

**Tabla 14: Descripción dibujo de listones**


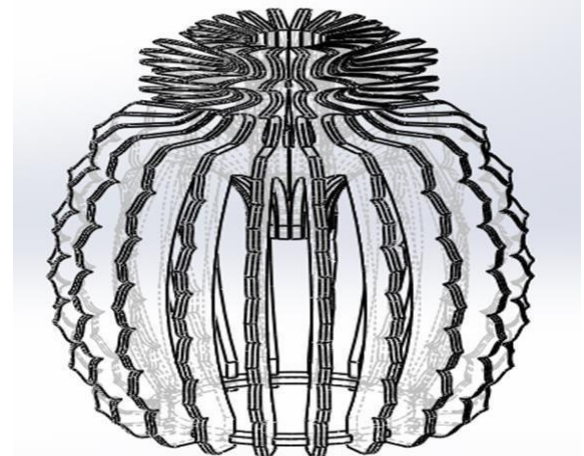
PROCESO	DESCRIPCION
<p><i>Software</i> <b>SOLIDWORKS</b></p>	<p>Para diseñar el listón se debe crear un plano alzado, en 'croquis' se utiliza líneas y 'spline' para dar la forma curva en la parte superior del listón y en la parte exterior para dar la forma saliente y en punta del listón, se procede en operaciones a extruir saliente base/base para dar el grosor deseado, hacer los redondeos para quitar la forma áspera en las partes pronunciadas, en operaciones extruir el corte para dar la forma en donde el listón ensambla con el disco tanto superior como inferior.</p>

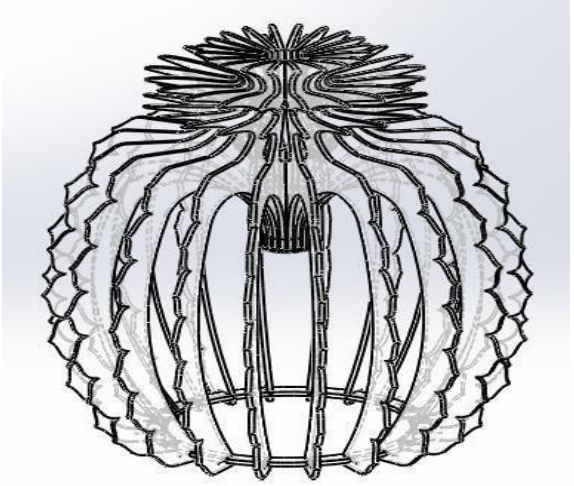
Fuente: Autores

### 5.3.3 Etapa 3: Alternativas preliminares de diseño

En esta etapa se analizan 3 bosquejos realizados donde se involucran las soluciones preliminares al diseño inicial, aquí se selecciona el prototipo final a realizar. Es en esta etapa donde se determina la definición del problema y la obtención geométrica de las partes de la luminaria a través del software SOLIDWORKS.

**Tabla 15: Descripción de alternativas de carcasa.**

Modelo	Dibujo	Descripción
1		<p>Diseño en forma de piña con 24 listones soportados por un aro superior y otro inferior, las dimensiones de la carcasa son 60 x 60 cm (Altura y diámetro). Se presenta un enmallado en cada listón con la finalidad de entregar al usuario una simulación del fruto.</p>
2		<p>Este modelamiento presenta las mismas características del diseño anterior con la diferencia que el enmallado en los listones se han retirado con el fin de obtener listones completos</p>

3		<p>En este bosquejo se disminuye el espesor lateral y la cantidad de listones (20) permitiendo tener una visualización más limpia del interior de la luminaria</p>
---	---	--

Fuente: Autores

Se postulan estos diseños para la elección del que será el prototipo final a fabricar para el primer tipo de luminaria ‘LA PIÑA’.

#### 5.3.4 Etapa 4: Evaluación de alternativas y elección de prototipos finales

La selección del diseño a materializar tiene que dar respuesta a requerimientos limitadores a través de una lista de referencia donde se evalúa estos criterios determinando el modelo adecuado. La tabla a continuación demuestra el método de evaluación utilizado, donde se otorga unos valores numéricos equivalentes a 3-*BUENO*, 2-*REGULAR* y 1-*MALO* para la ponderación y selección del modelo adecuado:

**Tabla 16: Evaluación de modelos - luminaria 1.**

Evaluación de modelos - Luminaria No 1 ‘Piña’			
Concepto	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
¿Cumple con los requerimientos funcionales?	2	3	3
¿Su materialización puede ser sencilla, eficaz y económica?	2	3	3

¿El diseño proporciona durabilidad y resistencia en acoples?	3	3	3
¿El diseño responde a características de estética y embellecimiento de interiores?	3	3	3
¿Se ofrece versatilidad y sencillez/ El diseño no es robusto?	3	2	3
¿Presenta un proceso de fabricación sencillo?	1	2	3
¿Se requerirán pocos utillajes para su fabricación?	2	3	3
¿Los procesos de montaje son simples?	3	3	3
¿El diseño cumple a cabalidad con los criterios y la aceptación definida para su posterior fabricación y montaje?	3	3	3
¿El sistema ofrece seguridad?	3	3	3
<b>RESULTADO</b>	25	28	<b>30</b>

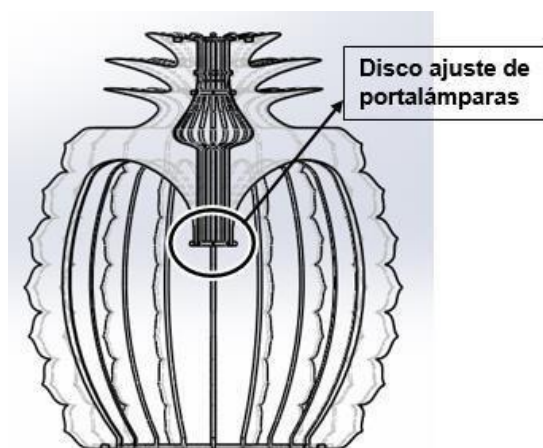
Fuente: Autores

De acuerdo a la tabla anterior el diseño de la luminaria a realizar para el prototipo 1 con las características de la Piña es el modelo número 3 ilustrado en la tabla 41.

### 5.3.5 Etapa 5: Materializar las restantes funciones

En esta etapa se sigue describiendo las soluciones a los parámetros críticos de la luminaria en este caso la estructura interna y la forma de acople del portalámparas, se presenta un corte transversal para ilustrar el diseño de la luminaria. Conjuntamente se tiene la idea global del diseño final y es a través de la siguiente imagen que se complementa parcialmente el bosquejo seleccionado para su fabricación y montaje de manera modular.

**Figura 22: Acople de Portalámparas.**



Fuente: Autores

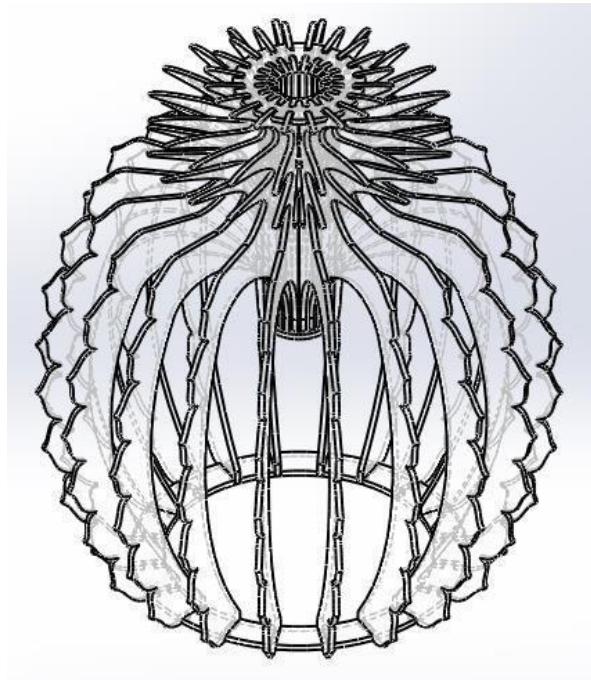
En la imagen anterior se evidencia un disco intermedio en el cual se acopla el portalámparas la cual albergará la bombilla LED E27, este número quiere decir el diámetro del casquillo el cual es de 27 mm. En este diseño se pretende posicionar la bombilla hacia el centro de la luminaria ya sea luz blanca o amarilla.

### ***5.3.6 Etapa 6: Materialización completa del diseño provisional:***

Se presenta el diseño completo dando solución a demás requerimientos característicos para el primer prototipo ubicando las partes generales que componen una luminaria colgante para decoración de interiores, en el modelamiento de la imagen 45 se propone una longitud máxima total de 1.50 m y un diámetro en luminaria de 66.7 cm; cabe resaltar que en esta etapa los diseños serán preliminares no descartando cambios en el mismo, acorde al proceso de fabricación y/o montaje.



**Figura 23: Diseño de carcasa en madera ‘La Piña’.**



Fuente: Autores

### ***5.3.7 Etapa 7 Evaluar y validar el diseño de materialización***

En esta etapa se concluye que este diseño cumple con los requerimientos de usuario postulados inicialmente, este diseño preliminar se analizará junto a la ingeniería de detalle mostrando demás facetas cualitativas en la luminaria a fabricar.

## **5.4 CUARTO PASO: Diseño de detalle**

El objetivo es proporcionar aquella información específica donde se destacan los planos de piezas junto a sus cotas, cálculos de conductores eléctricos, materiales complementarios, recubrimientos y demás componentes.

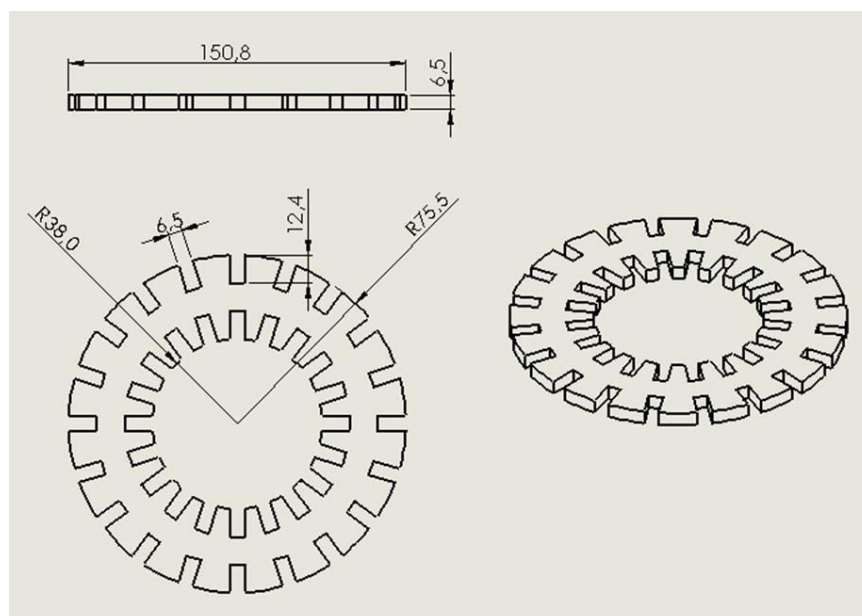
### ***5.4.1 Determinación de Piezas y componentes***

Siguiendo el método descriptivo por prototipo de diseño, a continuación, se ilustra las formas y geometrías de cada componente de la luminaria 1 con el fin de clarificar el modelo que se realizará.

### a) Disco superior de anclaje:

Este elemento sirve de intersección entre el portalámparas y los listones laterales que se describen más adelante, se diseña con el fin de acentuar el ensamble modular en su tipo de acople a los elementos que allí se unen.

**Figura 24: Disco superior de anclaje.**



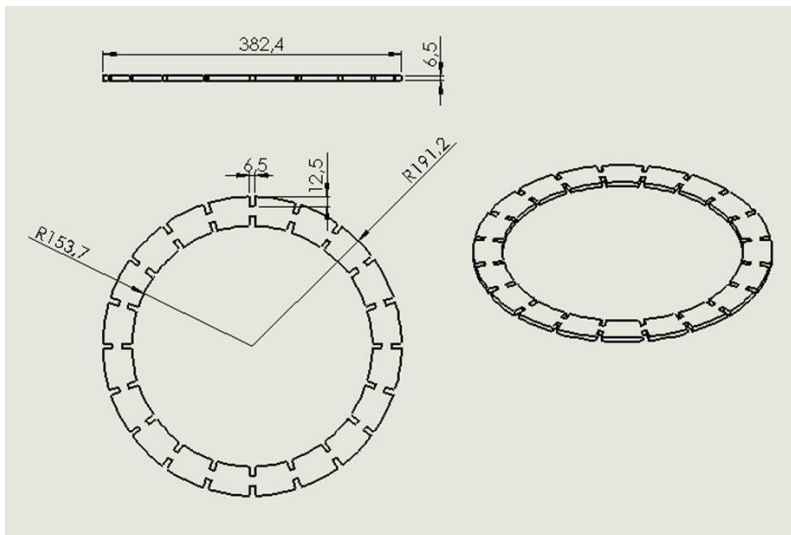
Fuente: Autores

La figura anterior ilustra las dimensiones del disco superior que soporta los 20 listones en su perímetro, se identifica un espesor de 6,5 mm y un diámetro de 150,8 mm, el material podrá ser en madera tríples de pino, cedro o flor morado.

### b) Disco inferior de anclaje:

Esta pieza funciona como complemento de soporte hacia los listones donde se acopla también de forma modular hacia los elementos estructurales que dan forma a la piña.

**Figura 25: Disco inferior de anclaje.**



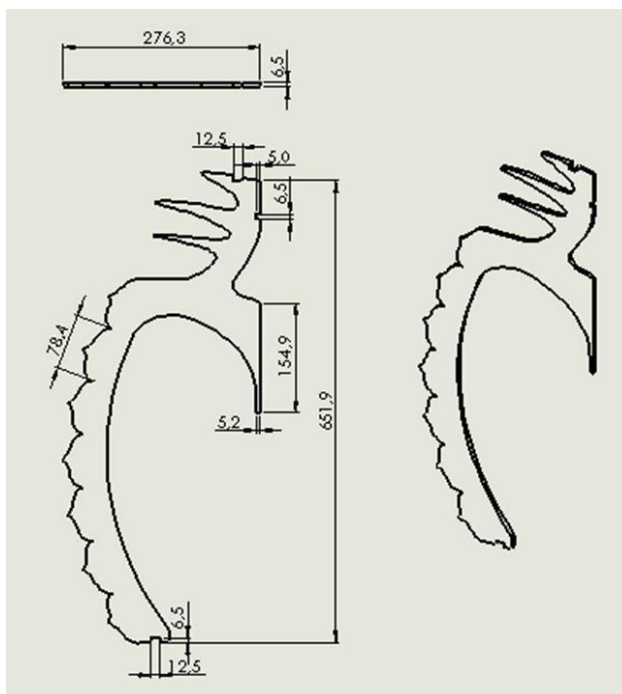
Fuente: Autores

El disco inferior de anclaje es un elemento circular que complementa el ajuste de los listones que conforman la carcasa de la luminaria; las dimensiones del disco como se ilustra en la imagen 25 tiene en su diámetro interno 307,4 mm con aberturas para abarcar los 20 listones, con 6,5 mm de ancho y 12,5 mm de profundidad buscando un acople deslizante forzado.

### c) Listones:

Esta luminaria está compuesta por 20 listones acoplados alrededor de cada disco (superior e inferior), se obtiene un diseño innovador, estéticamente apto para la decoración de interiores, el diseño realizado se da como resultado del uso del software SolidWorks, a continuación, se ilustra un listón con sus cotas correspondientes.

**Figura 26 : Listones.**



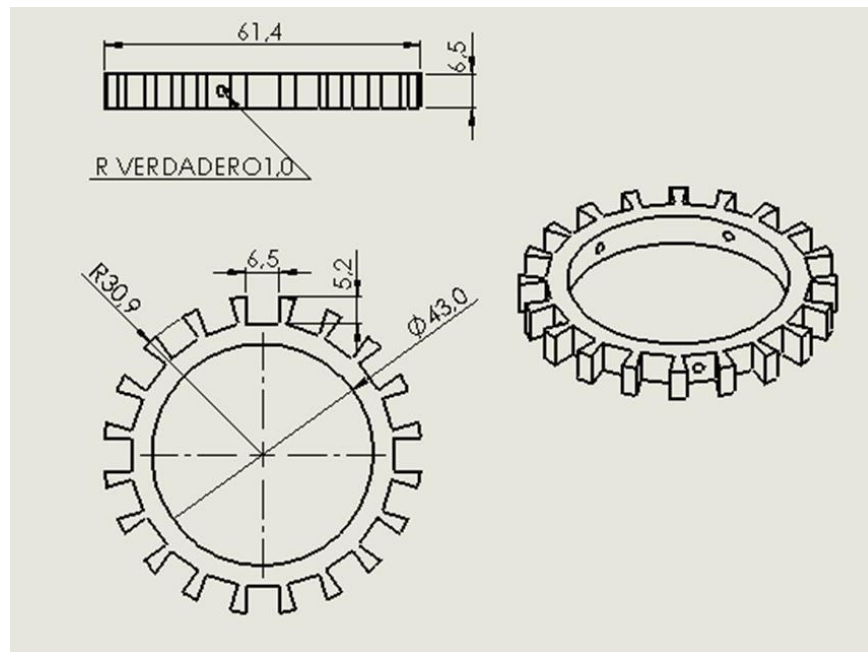
Fuente: Autores

La figura anterior ilustra las dimensiones del listón que tiene 652 mm de altura y 180 mm de ancho, su espesor es de 6,5 mm.

#### **d) Disco central sujeción**

Esta pieza funciona como complemento de soporte hacia los listones donde se acopla también de forma modular hacia los elementos estructurales que dan forma a la piña. Utilizando 5 pasadores que permiten acoplar tanto el listón como el disco central.

**Figura 27: Disco central.**



Fuente: Autores

El disco central de sujeción es un elemento circular que permite sostener los listones y a su vez la roseta del bombillo, tiene 5 orificios de 3 mm que permitirán insertar pasadores para darle rigidez a los listones, este disco tiene un espesor de 6,5mm.

#### 5.4.2 *Materiales*

##### a) **Selección de madera**

Durante el estudio realizado al retail de la empresa Tablecortes se generaron varios aspectos que fueron claves para la selección de la madera, en la tabla a continuación se relacionan las características técnicas de cada una y de este modo seleccionar la madera más apropiada para su uso en la fabricación de la carcasa de la luminaria:

**Tabla 17: Características de las especies de madera usadas en Tablecortes S.A.**

ASPECTO	ESPECIES DE MADERA		
	PINO RADIATA (Tríplex) [38]	CEDRO [39]	FLOR MORADO [40]
Resistencia a flexión [Mpa]	93,6 Mpa	28,98 - 30,23 Mpa	47-59 Mpa
Cizallamiento [Mpa]	8,7 - 10,2 Mpa	18 - 20 Mpa	12 - 13 - 15 Mpa
Espesores [mm]	4 - 6,5 - 9 - 12 mm	12 -15 mm	12 - 15 mm
Superficie/color	Lisa / amarillo claro	Rugosa / Marrón rojizo	Rugosa / Marrón claro
Presentación comercial	Se encuentran en forma de láminas traslapadas con espesores menores a 10 mm sin necesidad de requerir servicio de corte	Se encuentra en forma de listón o tablón de hasta 3 metros, requiere servicio de tronadora o fileteadora de madera para lograr espesores menores a 12 o 15 mm.	Se encuentra en forma de listón o tablón de hasta 3 metros, requiere servicio de tronadora o fileteadora de madera para lograr espesores menores a 12 o 15 mm.
Aspecto decorativo y aplicaciones	El pino en tríplex posee una presentación muy llamativa en cuanto a su superficie respecta, conservando la naturaleza del pino con este se obtendría una bella luminaria pues mantiene la tendencia de los colores claros de las luminarias colgantes estudiadas.	Es un tipo de madera muy costosa y principalmente es usado para la fabricación de muebles, mesas, repisas; muy poco común encontrar este material en luminarias.	Al igual que el cedro es una madera exclusivamente para la fabricación de muebles, en el análisis no es viable el uso de este para las luminarias.

Fuente: Autores

Para ejercicio en la selección de las especies de madera descritas en la Tabla 21 se escoge para la fabricación de la luminaria 1 el **Tríplex - Pino Radiata** desde netamente el punto de vista decorativo, posee su color natural amarillo claro además de tener una superficie lisa sin astillas que requiera ejercer mayor trabajo o transformación sobre este.

**Figura 28: Superficie de Tríplex de pino de 6,5 mm de espesor.**



Fuente: Autores

### **5.4.3 *Materiales complementarios***

#### **a) Selección de componentes eléctricos (Cables o conductores)**

Se plantea como objetivo específico la elección de componentes eléctricos (Cables y roseta) que cumplan los criterios en cuanto a seguridad e iluminación respecta, estos denotados en la NTC 2050 (Capítulo 4: sección 400: 'Cordones y cables flexibles') relacionados a continuación:

**Tabla 18: Criterios de cumplimiento mínimo para conductores eléctricos.**

<b>NTC 2050 CAPÍTULO 4: EQUIPOS PARA USO GENERAL; Sección 400: 'Cordones y cables flexibles'</b>		
<b>Aspecto</b>	<b>Criterio</b>	<b>Sección NTC 2050</b>
1	Los conductores flexibles y accesorios deben ser adecuados para su uso e instalación	Sección 400-3
2	Los conductores no deben tener una sección transversal menor a 18 AWG (0,82 mm <sup>2</sup> )	Sección 402-6
3	Los conductores deben estar etiquetados con la sección transversal y el tipo de aislamiento	Sección 400-6
4	Debe estar identificado el conductor de puesta a tierra y diferenciado de los demás conductores	Sección 400-22
5	Los cables flexibles son aptos para uso en artefactos colgantes	Sección 400-7
6	Los cordones flexibles no deben entablar tracción en empalmes entre cables y dispositivos (Cable-roseta)	Sección 400-17

Fuente: Autores

A pesar de estar clara la dimensión mínima del conductor eléctrico se opta por calcular la magnitud de la corriente de la luminaria para esto es importante tener en cuenta la ley de Watt para sistemas monofásicos en C.A. (Corriente alterna):

$$\text{Expresión 1: } P [W] = V [Vac] * I [A] * Fp$$

- **P:** Potencia activa de carga.
- **V:** Voltaje de conexión en corriente alterna
- **I:** Corriente Eléctrica
- **Fp:** Factor de potencia

Los datos en el caso de la luminaria se refieren a:

- **P= 30 W**
- **V=120 V (AC)**
- **Fp = 0,5** (Es posible encontrar lámparas LED con este factor de potencia)



Para realizar el cálculo del consumo de energía, de la ‘expresión 1’ se despeja la corriente eléctrica y se obtendrá el consumo en Amperios por cada lámpara, la expresión final es:

$$I [A] = P [W] / (V [Vac] * Fp)$$

Al sustituir por los valores anteriormente descritos se obtiene:

- $I = 30 \text{ W} / (120 \text{ V} * 0.5)$
- $I = 0.5 \text{ A}$

En la sección 220 de la NTC 2050 se establece un factor de seguridad para cargas continuas del 125%, esto con el fin de dimensionar el conductor un 25% de la corriente nominal, por consiguiente, el valor de corriente hallado anteriormente se multiplicará por 1.25 que representa este incremento para finalmente obtener un valor de corriente para el conductor de:

- **I conductor** =  $0.5 \text{ A} * 1.25$
- **I conductor** =  $0.625 \text{ A}$

A pesar de realizar los cálculos con un factor de potencia reducido (0.5) el consumo energético es muy bajo, para la selección del conductor eléctrico a fase se dispone de la sección 402 ‘Conductores para aparatos’ más exactamente a la Tabla 402-5 ‘capacidad de corriente para conductores para aparatos’ y relacionada a continuación:

**Tabla 19: Capacidad de corriente para conductores NTC 2050: 402-5. [14]**

Sección Transversal		Capacidad de corriente (A)
mm <sup>2</sup>	AWG	
0,82	18	6
1,31	16	9
2,08	14	17
3,30	12	23
5,25	10	28

Fuente: <https://www.retilap.com.co> «capacidad de corriente para conductores» 5 noviembre

2013 [En Línea]. Available: <https://www.retilap.com.co/download/RETIE-EN-PDF-ACTUALIZADO.pdf> [último acceso: 23 marzo 2022]

### a) Selección de lámpara o bombilla

Comercialmente es posible encontrar bombillas LED de diferentes potencias y de distintos valores para su flujo luminoso, a continuación, se relacionan sus equivalencias comerciales.

**Tabla 20: Equivalencias de potencia eléctrica y flujo luminoso (Lumen) bombillas LED. [24]**

Potencia [W]	Flujo Luminoso [Lm]
30	2500
20	1500
15	1000
9	800
5	450

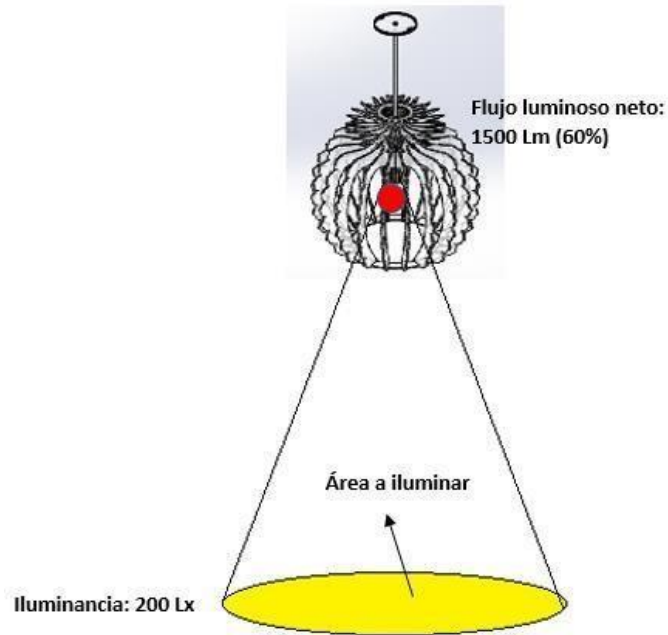
Fuente: Colombia, E. e. (06 de 08 de 2019). *¿Qué considerar para elegir un bombillo?*  
 Obtenido de La eficiencia lumínica:  
<https://www.homecenter.com.co/homecenterco/guias-de-compra/como-elegirbombillos>

Este tipo de luminaria acorde a la figura 8 ilustrada en el marco conceptual se puede clasificar como luminaria semidirecta, donde el flujo luminoso se aprovecha entre un 60% y 90%, para cumplimiento del presente proyecto se selecciona una bombilla de 30 W con 2500 Lm. Existe una expresión que relaciona el flujo luminoso, la iluminancia y el área a alumbrar, esta es:

- $Illuminancia [Lx] = \text{Flujo Luminoso [Lm]} / \text{Área [m}^2]$

Para entender la capacidad lumínica del primer prototipo de luminaria se relaciona la imagen a continuación:

**Figura 29: Disposición para iluminación luminaria 1.**



Fuente: Autores

Se calcula el área a iluminar con el valor máximo de iluminancia de 200Lx (determinado en el RETILAP), con la expresión descrita anteriormente y para efectos este cálculo es:

- **Área**= Flujo luminoso neto/iluminancia = 1500 Lm/200 Lx = **7,5 m<sup>2</sup>**

Es necesario establecer la altura a la que se debe instalar la luminaria para mantener los niveles de iluminancia máximos, ya con el área calculada se procede a determinar la correspondiente altura de la siguiente manera:

*Determinar el radio del círculo que representa el área a iluminar*

- Área del círculo=  $\pi * r^2$
- $R = \sqrt{(7,2/\pi)} = 1,51 \text{ m}$

El radio interno del disco inferior de la luminaria tiene un valor de 15,0 cm y está a una distancia aproximada a la lámpara de 22 cm. Con estos valores es posible calcular el ángulo teórico de apertura del haz de luz con análisis de triángulos rectángulos con la tangente del ángulo:

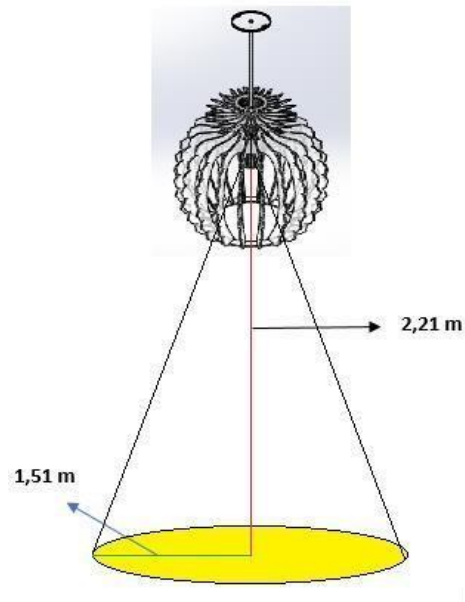
- $\text{Tan } \emptyset = \text{CO} / \text{CA} = 15,0 / 22,0 = 0,68$
- $\emptyset = \text{Tan}^{-1} 0,68 = \mathbf{34,3^\circ}$

*La altura que deseamos encontrar estará dada por:*

- $\text{Tan } 34,3^\circ = 1,51 \text{ (R)} / \text{Altura}$
- **Altura mínima:**  $1,51 / \text{Tan } 34,3^\circ = 2,21 \text{ m}$

Es posible instalar a la luminaria una lámpara de 2500 Lumen siempre y cuando se cumpla con la altura mínima calculada para mantener un valor de 200Lx sobre el suelo o área de trabajo.

**Figura 30: Altura mínima para bombillas de 2500Lm (30W).**



Fuente: Autores

En la sección 410.3 ‘Control de deslumbramiento’ del RETILAP la expresión para el cálculo del índice de deslumbramiento (UGR) directo de la lámpara, se relaciona a continuación:

**Figura 31: Expresión para el cálculo de UGR.**

$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

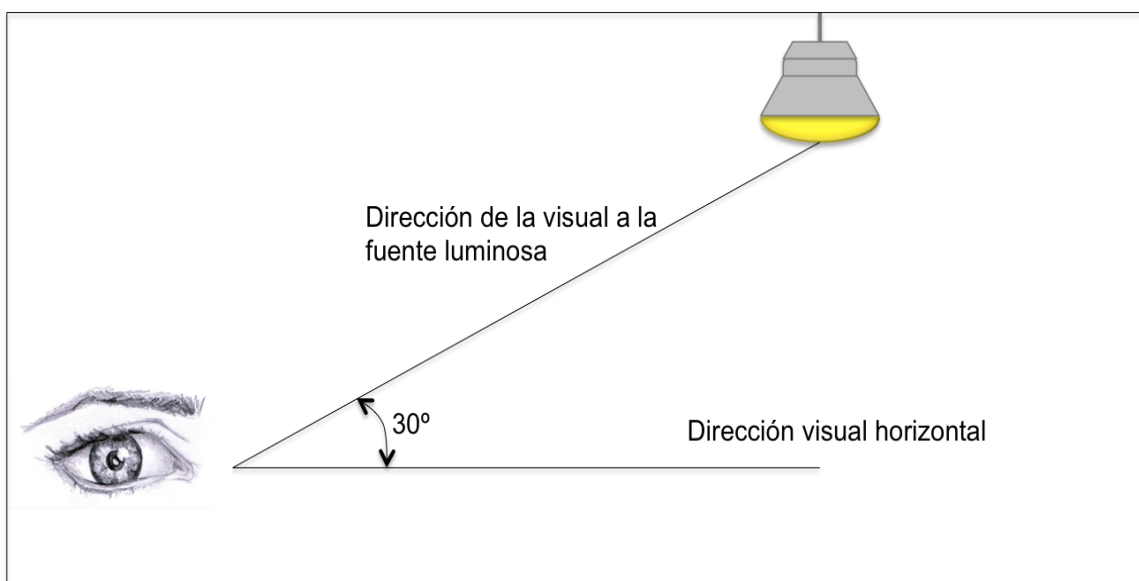
Fuente: Retilap

Para el cálculo del UGR de la luminaria 1, que como se ha denotado no pasará de 25 unidades se debe determinar las variables que allí se presentan:

- **L**= Iluminancia de las fuentes luminosas de 1 luminaria; para este caso se asimila el valor de **1500Lx** (1500 Lm /1 m<sup>2</sup>)

- $\omega$ = ángulo sólido en estereorradianes el cual hace referencia a la apertura de haz de luz; Es posible calcularlo dividiendo el área a iluminar con la altura de trabajo al cuadrado ( $A/r^2$ ); para esta luminaria el valor es:  $7,5 \text{ m}^2 / (2,21 \text{ m})^2 = 1,53$
- $p$ = **Índice de posicionamiento de Guth**; el cual referencia la posición de la vista del usuario en el plano horizontal y la dirección de la iluminancia de la bombilla hacia la periferia del usuario, normalmente se estima un ángulo crítico de  $30^\circ$  así como se muestra a continuación.

**Figura 32: Ángulo crítico de deslumbramiento.**

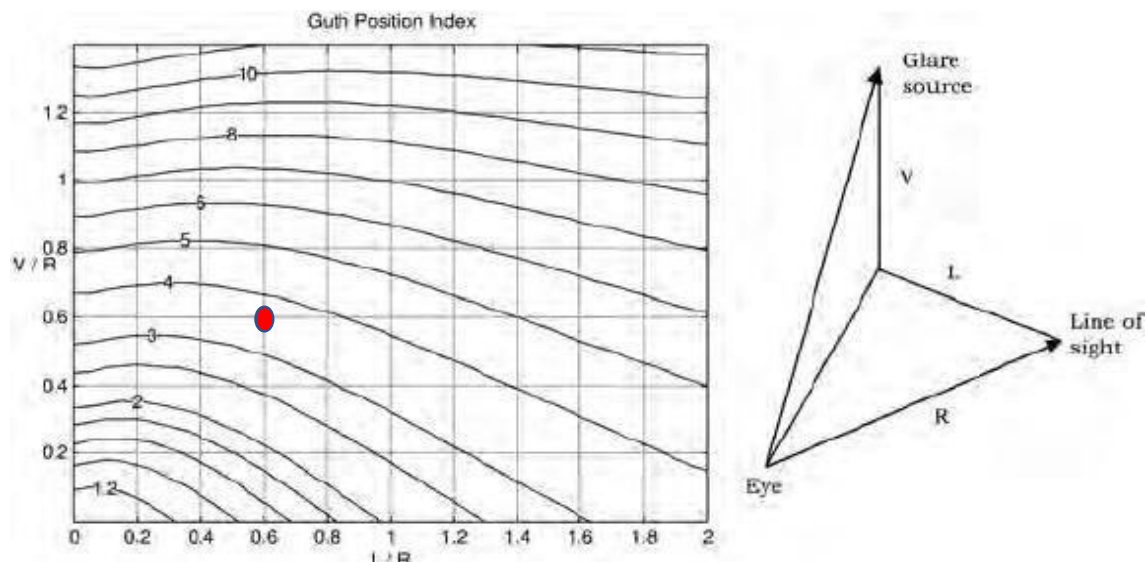


Fuente: diseño, r. d. (s.f.). *requisitos de diseño*. Obtenido de deslumbramiento:  
<https://grlum.dpe.upc.edu/manual/disenProyecto-requisitosDiseno.php>

Para hallar el índice correspondiente se tiene en cuenta la gráfica izquierda de la imagen 33 y la disposición de los valores de las distancias V, L y R ilustradas en la parte derecha de la misma imagen; se asume que R será igual al radio del área iluminada (**1,51 m**), V y L tendrán la misma magnitud que será igual a la tangente del ángulo crítico por el valor de R ( $\text{Tan } 30^\circ * 1,51 = \mathbf{0,9 \text{ m}}$ )

Para la selección de valor en el eje de las abscisas de la gráfica se divide L/R siendo igual a 0,6; de igual forma en el eje coordenado se divide el valor de V y R obteniendo la misma magnitud 0,6 se relacionan estos puntos y la intersección de estas sobre la curva, determina el índice de posición de Guth

**Figura 33: índice de posición de Guth**



Fuente: blog, e. l. (s.f.). *efecto led blog*. Obtenido de Qué es el UGR o Índice de Deslumbramiento Unificado: <https://www.efectoled.com/blog/es/ugr-indicedeslumbramiento-unificado/#content>

Conforme al punto obtenido se asumirá una curva intermedia con valor a 3,5 que refiere el índice de posición de Guth.

- $L_b$  = Iluminancia de fondo que es igual a iluminancia indirecta en el ojo del observador, dividido  $\pi$ ; El valor para el primer prototipo será de  $(1500 / 3.1416 = 477,5)$

De este modo se reemplaza los datos en la expresión de la imagen 31

- $UGR = 8 * \text{Log}_{10}[(0,25/477,5) * (1500^2 * 1,53) / (3,5^2)]$
- **UGR = 17,34**


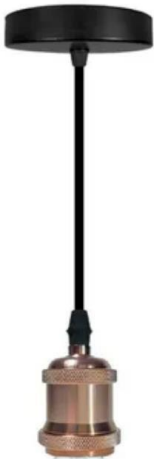
Es conveniente usar una lámpara de 2500 Lm para este prototipo de luminaria con una potencia de 30 W, para este proyecto se ha seleccionado la compañía Ilumax la cual ofrece estas características en bombillas LED con Roseta E27 para conexión a 120 V (AC).

### **b) Selección de Portalámparas:**

La NTC 2050 (Código Eléctrico Colombiano) sección 410 ‘Aparatos de alumbrado, porta bombillas, bombillos y tomacorrientes’ establece en el apartado 410-15 el uso de portalámparas para luminarias con dimensiones mayores a 40 cm o peso superior a 2,72 kg. Como método de solución a este aspecto y con el fin de connotar la eficaz manera de ensamble y cumplimiento normativo por este componente, se establece la adquisición

comercial de portalámparas con cable flexible para interiores en la tabla a continuación se identifica los colores y la selección del adecuado para el montaje:

**Tabla 21: Portalámparas marca: ILUMAX.**

Portalámparas	Elemento	Características
<p style="text-align: center;"><b>1</b> [19]</p>		<p><b>Anclaje:</b> Diámetro: 10 cm  <b>Longitud cable:</b> 1,0 m regulables  <b>Roseta:</b> E 27  <b>Cable flexible:</b> Monofásico bipolar AWG 18 (Línea, Neutro y Tierra)</p> <p style="text-align: center;">COLOR DORADO</p>
<p style="text-align: center;"><b>2</b> [19]</p>		<p><b>Anclaje:</b> Diámetro: 10 cm  <b>Longitud cable:</b> 1,0 m regulables  <b>Roseta:</b> E 27  <b>Cable flexible:</b> Monofásico bipolar AWG 18 (Línea, Neutro y Tierra)</p> <p style="text-align: center;">COLOR ROSA</p>

<p>3 [3]</p>		<p><b>Anclaje:</b> Diámetro: 10 cm  <b>Longitud cable:</b> 1,0 m regulables  <b>Roseta:</b> E 27  <b>Cable flexible:</b> Monofásico bipolar AWG 18 (Línea, Neutro y Tierra)</p> <p>COLOR NEGRO</p>
------------------	---	--

Fuente: Autores

Cada portalámparas descrito anteriormente tiene las mismas características, se escogen debido a su modo de anclaje a las carcasa que es mediante una rosca externa de diámetro de 42 mm y longitud de rosca de 11 mm y una tuerca (espesor 5mm) que a esta se asegura, así como se ilustra a continuación:

**Figura 34: Roseta E 27 con rosca externa.**



Fuente: Autores

Es conveniente este mecanismo pues cumple mediante su ajuste a los criterios modulares para el ensamble a la carcasa de modo fácil, rápido y eficaz; el modelo de portalámparas escogido hace referencia al color DORADO pues continua con la conservación del color que tendrá la carcasa; *además se cumple con el objetivo específico 2 y 3 de materiales complementarios y aptos por la normatividad vigente.*



**Figura 35: Portalámparas colgante de cable flexible dorada. [19]**



Fuente: <https://www.homecenter.com.co/> «lámpara colgante vintage luz e27 bronce» 2022 [En Línea].

### c) Diámetro de pasadores

Se hace enfoque en el cálculo del diámetro de los pasadores del disco intermedio que unirá la carcasa con el portalámparas pues se considera que estos soportaran una considerable fuerza por la masa de la carcasa; A esto se denotan los siguientes datos considerando conexiones cortantes simples con pasadores en *bambú* (palos para pincho).

**Tabla 22: Datos para cálculo de esfuerzo cortante simple.**

Aspecto	Valor
Factor de seguridad [F.S.]	1,25
Esfuerzo cortante $\tau$ falla (Ver tabla 17)	9,4 Mpa = 1,36 Ksi
Fuerza [F] (masa carcasa [3,5 kg]* gravedad [9,82 m/s <sup>2</sup> ])	34,3 N = 7,7 Lb f

Fuente: Autores

$\tau$  Admisible =  $\tau$  falla/ F.S. =

- 1,36 KSI/1,25
- $\tau$  admisible = 1,088 KSI
- Área =  $F / \tau$  admisible =
- 7,7 Lbf / 1088 PSI
- Área [A] = 0,0071 in<sup>2</sup>

**Diámetro de pasadores** =  $\sqrt{(4 \cdot A / 3,1416)} =$

- $\sqrt{(4 \cdot 0,0071 / 3,1416)}$
- **Ø Pasadores = 0,095 in** o 2,4 mm

Los palillos en Bambú comercialmente tienen un valor mínimo para su diámetro de **3,00 mm** y se opta por instalar estos a la fabricación y ensamble del primer prototipo de luminaria.

#### **5.4.4 Acabados y Recubrimientos**

En el tratamiento de las superficies de la madera es posible encontrar barnices, lacas, selladores y pinturas obtenidos de distintos métodos de fabricación, en este numeral se hará énfasis en dos productos a selección para recubrir el tríplex de pino conservando la naturaleza superficial de la madera. Acorde a guías técnicas diseñadas por Andercol (Compañía multinacional líder en soluciones químicas con sedes en Latinoamérica incluyendo Colombia) los recubrimientos para maderas se encuentran clasificados en 4 sistemas o grupos: Nitro celulósicos, sistemas de poliuretano, (siendo estos dos los más utilizados en el recubrimiento de maderas) sistemas catalizados al ácido y sistemas de poliéster insaturado. [58]

Para el primer prototipo de luminaria ‘La piña’ se requiere que el aspecto superficial de la madera resalte naturalmente, para este proceso es necesario usar 2 productos un sellador y una laca catalizada de color.

**Tabla 23: Descripción de recubrimientos.**

ELEMENTO	FUNCION	VENTAJAS	CRITERIO
<b>BASE SELLADORA CATALIZADA NITROCELULOSICA</b>  <b>Marca:</b> Philaac <b>Cantidad:</b> 1 Galón	Producto base encargado de sellar poros e imperfecciones de la madera; además permite a cualquier pintura o recubrimiento final adherirse al material sin contratiempo	Rápido secado (20 min).  Se puede aplicar con pistola.  Acabados superficiales más finos.  Alta corrección de imperfecciones	Para cualquier trabajo que requiera pintar o dar acabado final a la superficie de la madera es necesario aplicar sellador a las piezas. Se escoge este elemento pues tiene un valor asequible y es posible aplicar con pistola, algo que hace el proceso rápido además de su secado.
<b>LACA CATALIZADA TRANSPARENTE</b>  <b>Marca:</b> Philaac <b>Cantidad:</b> ½ Galón	Producto que ofrece un terminado superficial final transparente, Embelleciendo el aspecto de la madera a la que fue aplicada	Aspecto MATE  Se puede aplicar con pistola  Secado rápido No requiere lijado	Ofrece un acabado homogéneo, resistente a las ralladuras y resalta la especie de madera que recubre; no ofrece gran ganancia en pintura al ser delgado.
		Ofrece dureza y flexibilidad	

Fuente: Autores

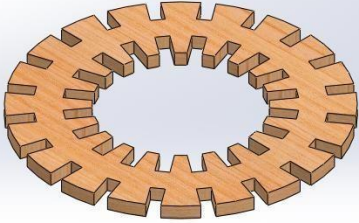


Para recubrir la madera de la luminaria se recurre a estos 2 productos al realizar pruebas con ambos se concluye que al aplicarse con pistola aspersora una sola vez el producto a la pieza (una mano) con presión de 10 PSI, la superficie aumenta en una media de 100 micras o 0,1 mm (verificado por calibrador digital verificado por la ONAC), esto con el fin de tener en cuenta a la hora de la designación de tolerancias y ajustes.

Para recubrir la madera de la luminaria se recurre a la laca transparente puesto que mantiene el aspecto superficial del tríplex sin ningún tipo de brillo y ofrece protección contra diferentes aspectos dañinos del ambiente.

#### 5.4.5 Lista de componentes

Para claridad de los componentes finales y facilidad de fabricación y ensamble se da una nomenclatura a cada componente junto a su descripción en la siguiente tabla

Tabla 24: Componentes de Luminaria 1.

COMPONENTE	NOMENCLATURA	IMAGEN
Disco superior	D1	
Disco medio	Dm	
Disco inferior	D2	

<b>Listón</b>	L1	
<b>Portalámparas</b>	B1	
<b>Pasadores</b>	P1	
<b>Bombilla</b>	B1	

Fuente: Autores

### 5.4.6 Revisión del proyecto

Es necesario verificar 2 aspectos en este numeral: el primero hace referencia a que se cumplan todas las funciones de la luminaria a lo cual se concluye que tras el análisis realizado durante el desarrollo del producto se cumple con los requerimientos planteados inicialmente; conforme al diseño se obtiene una luminaria colgante en madera minimalista e innovadora para decoración de interiores con características modulares para su ensamble.

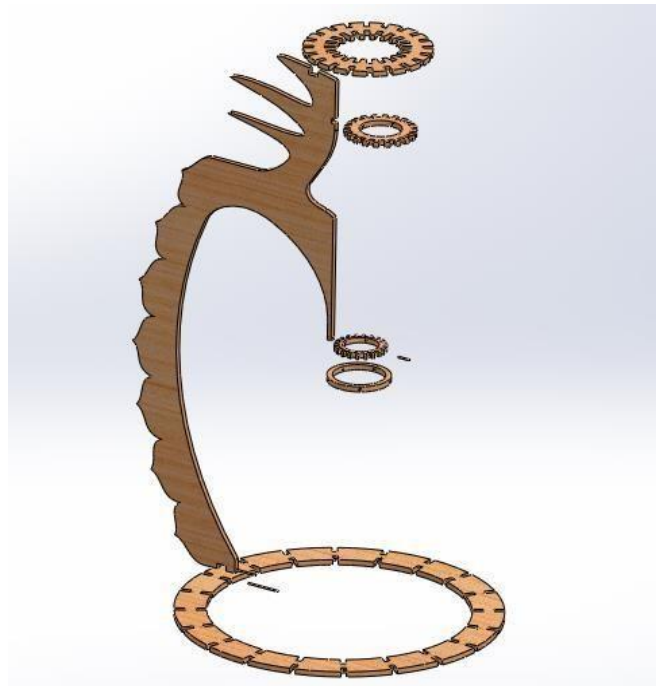
El segundo aspecto connota la fabricabilidad de los componentes y en sí de la luminaria; es evidente la complejidad de fabricación de los componentes (discos y listones) de forma manual a lo cual se escoge el proceso de corte a LASER para la obtención de los componentes críticos. En conclusión, la fabricación de esta luminaria **SI ES VIABLE**.

## 5.5 QUINTO PASO: Arquitectura y modularidad

La guía metodológica en el capítulo 4 establece criterios y recomendaciones del diseño elegido en cuanto a sus ajustes o uniones de piezas respecta; el enfoque se da hacia el concepto de MODULARIDAD que establece la creación de componentes por ‘módulos’ con finalidad de ofrecer una arquitectura competitiva para las personas fabricantes o quienes vayan a comercializar. En este aspecto se hará una descripción a detalle de los ajustes del prototipo de luminaria 1 que evidentemente cuenta con un diseño arquitectónico modular.

### 5.5.1 Arquitectura de producto

**Figura 36: Estructura y arquitectura de luminaria 1.**



Fuente: Autores.

El diseño ilustrado en la imagen anterior destaca la intencionalidad de fabricación para el primer prototipo de luminaria, aclarando que la obtención se da después del análisis realizado en el desarrollo del producto o etapas iniciales de diseño, se aprecia el listón y los discos dentados para composición de la carcasa de la luminaria, cabe resaltar que el diseño está sujeto a cambios en el proceso de fabricación o montaje.

La guía metodológica en el capítulo 4, numeral 4.1.2 establece la ‘descripción de las familias de diseño de productos’ divididas en 4 grupos, cada categoría identifica diferentes aspectos a tener en cuenta por el diseñador, en el caso de la luminaria, de cada grupo se consideró importante los siguientes aspectos:

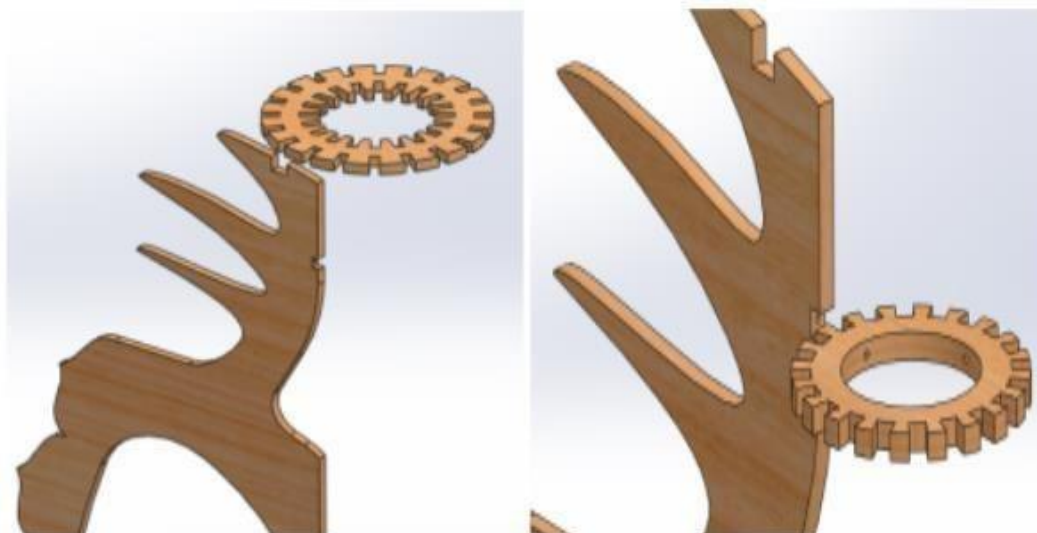
- **Reutilización de conocimiento en el diseño:** *Escalonamiento (Size ranges)* Se establece las dimensiones junto a tolerancias y funciones de cada componente de la luminaria
- **Personalización en la fabricación:** *Fabricación a medida (Fabricate to fit)* Establece el diseño y fabricación de las piezas a medida, con las cuales se logren la interacción con demás partes en sus puntos finales; En la luminaria se asimila a la conexión del listón en sus puntos extremos a los discos.
- **Configuración de variantes en el montaje:** *Modularidad de Bus (Bus modularity)* El diseño se caracteriza por tener piezas que simultáneamente puedan alojar otros componentes idénticos; Los discos de sujeción de la PIÑA pueden unir hasta los 20 listones a su alrededor, se considera modularidad de bus pues las aberturas de los discos son simétricos e iguales para la conexión de los listones idénticos.
- **Adaptación después de la fabricación Adaptabilidad (Adaptive variety)** Los componentes de la luminaria se deben acoplar entre sí, sin ninguna anomalía por parte del usuario que los ensambla y no se deberá des ensamblar.

### 5.5.2 Modularidad

#### □ Módulos constructivos

A Continuación, se ilustran los acoples con los que se ensamblan los distintos componentes de la luminaria, destacando la característica modular en su diseño:

**Figura 37: Ensamblés estándar luminaria 1 (Disco superior, disco guía VS Listón).**



Fuente: Autores

Cabe resaltar que los listones y los discos de sujeción tendrán un espesor de 6,5 mm esto debido a que la empresa Tablecortes maneja trípex de este calibre apto para la construcción de la carcasa, es desde este punto que se diseña los orificios o huecos donde se ensamblan los componentes; es importante tener en cuenta para el diseño las tolerancias y ajustes los cuales se definen en la siguiente tabla.

**Tabla 25: Tolerancias y ajustes. [21]**

Dimensiones de tolerancias y ajustes - Acoples de luminaria 1					
Tamaño Básico (orificio)	Grado de tolerancia	Tolerancia (mm)	Tipo de ajuste	Clase de ajuste	Límites de holgura
6,5 mm	11	+0,09	Holgura	RC 5 (Ajuste de deslizamiento medio)	0,0254 - 0,0635

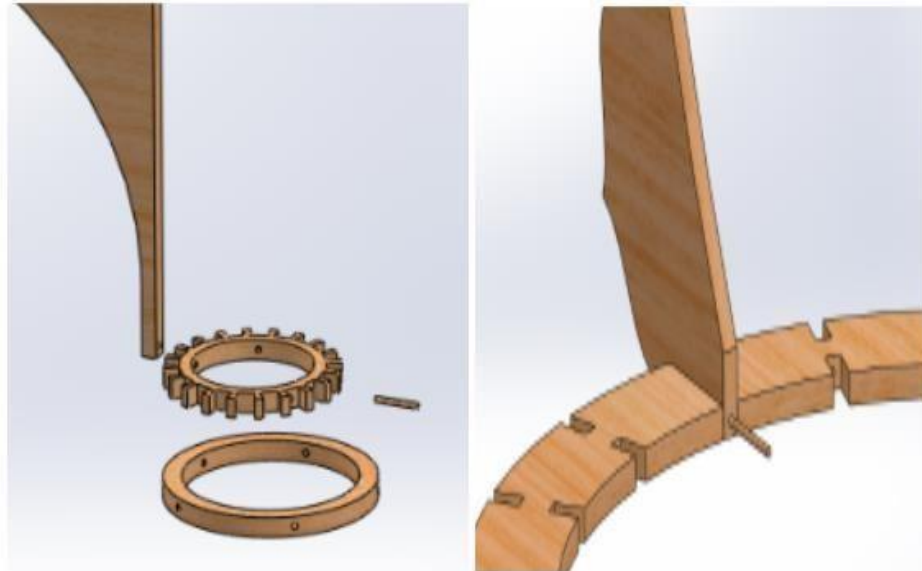
Fuente: Mott, r. l. (s.f.). *academia.edu diseño de elementos de máquinas*. Obtenido de diseño de elemento de máquinas, capítulo 13, pagina 575:

[https://www.academia.edu/34159733/Dise%C3%B1o\\_de\\_Elementos\\_de\\_M%C3%A1quinas\\_4ta\\_Edici%C3%B3n\\_Robert\\_L\\_Mott](https://www.academia.edu/34159733/Dise%C3%B1o_de_Elementos_de_M%C3%A1quinas_4ta_Edici%C3%B3n_Robert_L_Mott)



Otro componente del que anteriormente no se había hecho mención es sobre el diseño y ajuste de unos pasadores que harán parte del ensamble del disco superior, inferior y medio esto con el fin de sujetar y soportar la carcasa; para este diseño se instalará por disco 5 pasadores; esta mejora reducirá sustancialmente el tiempo de ensamble en comparación de una luminaria convencional.

**Figura 38: Ensamblajes con pasadores en madera.**



Fuente: Autores

El diseño de la luminaria hace que los pasadores no soporten cargas máximas o estén sometidos a un significativo esfuerzo cortante en este diseño se proponen unos pasadores con diámetro de 3 mm para los ajustes requeridos en la carcasa. Hasta este punto se obtiene el diseño completo, los materiales propuestos y el proceso que es tendencia para la fabricación de la carcasa y luminaria

## 5.6 SEXTO PASO: Fabricación

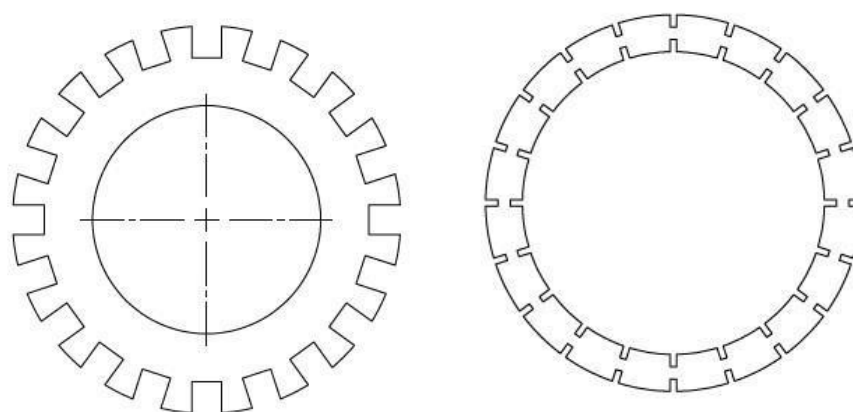
### 5.6.1 Objetivos del DFMA

En el capítulo 5 de la guía metodológica se describen 2 aspectos importantes en los cuales se basa la metodología DFMA y los cuales deben ser tenidos en cuenta por un diseñador. El primer aspecto es el enfoque a la facilidad del **conformado de piezas** a través de procesos automatizados que involucren bajo costo, velocidad de producción con alta calidad en la fabricación de componentes. El segundo aspecto hace referencia al montaje del producto que involucre pocas operaciones en su armado que de igual forma no requiere verificaciones constantes.

### 5.6.2 Vías de obtención de piezas y componentes

Para este proyecto el proceso más pertinente para corte de madera contrachapada como por ejemplo el tríplex de pino es mediante el CORTE A LÁSER; consiste en una máquina de 60W capaz de cortar todo tipo de madera con espesor máximo de 12 mm y dimensiones no mayores a 100 x 80 cm mediante un haz de luz móvil (Láser) con índice de corte aproximado de 1 mm. Cuenta con un software para diseños asistidos por computadora que reconoce un formato digital en nuestro caso el DXF (Drawing Exchange format) que permite la interacción entre el equipo y diseño que se debe desarrollar.

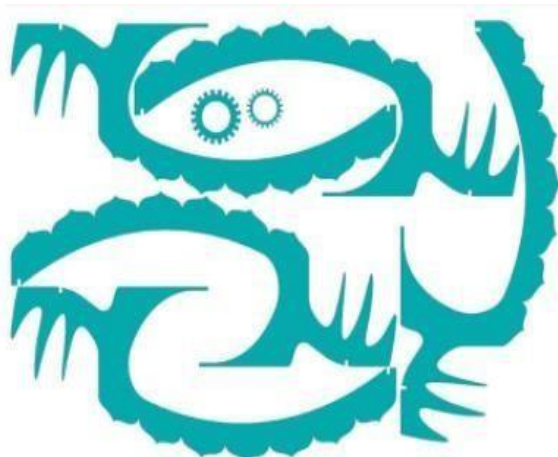
**Figura 39: Visualización de componentes en formato DXF.**



Fuente: Autores

Desde cualquier computadora es posible visualizar los planos en DXF como se ilustra en la imagen anterior, estos archivos salvaguardan las dimensiones estipuladas en el software de diseño SOLIDWORKS el cual permite manejar este tipo de archivo, desde ahí los planos son entregados a la empresa prestadora de servicio para el corte de la madera desde su equipo computarizado; ellos introducen al programa los planos y este ofrece un modelamiento de la distribución de las piezas de corte en un área que comprende una longitud de 1,00 m y un ancho 0,80m como se ilustra a continuación.

**Figura 40: Ubicación de piezas para corte en software de máquina corte a laser.**



Fuente: Autores

Para este proyecto este es el método de obtención de piezas ‘el corte a laser’, ahora se describe el paso operativo de la obtención final de las piezas finales en cuanto a la fabricación respecta de la luminaria 1:

**Tabla 26: Proceso operativo para fabricación de piezas.**

OPERACION	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	
Operación 1	Obtención de materia prima (madera)  <i>El espesor de lámina deberá ser de 6,5 mm de tríplex de pino</i>	Listones	20 láminas tríplex de 60x25 cm o 4 láminas de 1 x 0,80 m
		Disco superior	1 lámina de 20x20 cm
		Disco inferior	1 lámina de 50x50 cm
		Disco intermedio	1 lámina de 8x8 cm

Operación 2	Corte a laser	Con el material de madera completo es necesario dirigirse a algún negocio de corte a laser con los diseños digitales de los componentes en formato DFX de las piezas para su corte
Operación 3	Carpintería (Perforación de orificios)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar 5 listones.</li> <li>• Perforar con una broca de 3,0 mm, uno por uno con ayuda de la prensa TIPO F, junto a las plantillas conforme a la tabla 28.</li> <li>• Seleccionar el disco superior, inferior e intermedio y realizar 5 perforaciones en cada uno, cada 4 muescas.</li> </ul>
Operación 4	Carpintería (Lijado superficial y sellado de piezas)	En la mesa de trabajo prensar cada pieza (con prensa TIPO F) y pulir con lija 220 las piezas hasta obtener una superficie lisa y homogénea; posteriormente aplicar con pistola aspersora y compresor a 10 psi sellante para madera con la finalidad de mejorar el aspecto de esta, aplicar una sola mano.
Operación 5	Carpintería (Aplicar recubrimiento)	Después de que la base selladora haya secado, nuevamente lijar las superficies y de igual forma con pistola aspersora a una presión de 10 PSI aplicar la laca protectora transparente sobre todas las piezas una o máximo 2 pasadas (2 manos).
Operación 6	Obtención de piezas	Verificar visualmente el estado de las piezas dando aval al aspecto de estas.

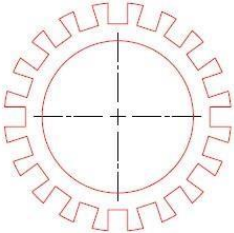
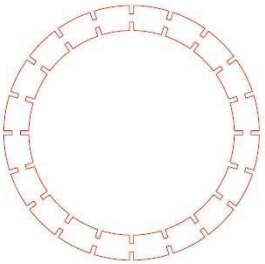
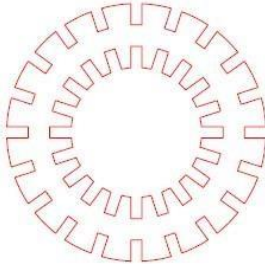
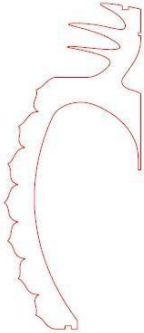
Fuente: Autores

Basado en lo anteriormente descrito se concluye la adecuada fabricación de los componentes críticos conforme a lo estipulado para el proyecto; los utillajes o plantillas de fabricación se establecen en 2 conjuntos dando respuesta y cumplimiento a otro objetivo planteado:

- **Plantillas digitales:**

Las plantillas digitales se refieren a los planos de las piezas en formato DXF, puesto que normalmente es un archivo genérico para uso en las máquinas de corte por láser por la cual obtendremos los cortes requeridos para los componentes en madera.

**Tabla 27: Plantillas digitales DXF.**

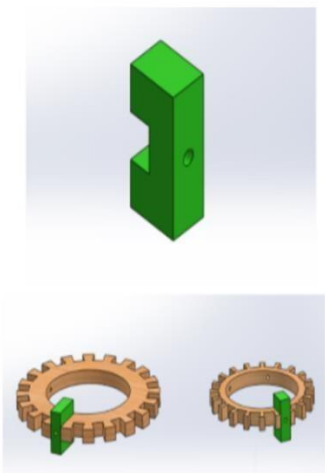
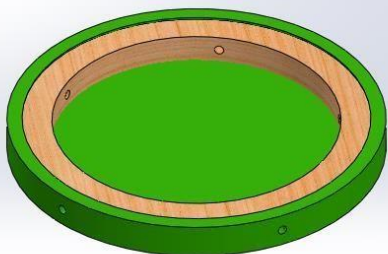
PLANTILLA	DISEÑO DXF
DISCO GUIA EMSAMBLE	
ARO INFERIOR	
DISCO SUPERIOR GUIA	
LISTON TIPO PIÑA	

Fuente: Autores

- **Plantillas para perforaciones:**

Se diseña una pieza la cual puede ser fabricada y utilizada para realizar todos los orificios que requieren los ajustes de la luminaria, en la imagen a continuación se ilustra el modelo establecido.

**Tabla 28: Plantillas para perforaciones.**

NOMBRE	DISEÑO	CARACTERISTICA
<p><b>PLANTILLA PARA PERFORACION DE DISCOS Y LISTONES</b></p>		<p>Esta plantilla permite perforar los listones y disco superior e inferior para de esta manera colocar los pasadores que soportaran toda la luminaria.</p>
<p><b>PLANTILLA PERFORACION ARO MEDIO</b></p>		<p>Esta permitirá abrir los orificios del disco central para insertar las cuñas que soportaran el portalámparas con la bombilla led.</p>

Fuente: Autores

Para la fabricación se escogió entre 3 materiales y correspondiente proceso, relacionados a continuación:

**Tabla 29: Selección de material para plantillas de fabricación.**

MATERIAL	PROCESO	CRITERIO
<b>Acero</b>	Corte de dados mediante el proceso de plasma	Proceso muy robusto para la fabricación de piezas pequeñas, se requiere posteriormente limado de las piezas
<b>Polipropileno</b>	Corte manual de dados con segueta o caladora	Proceso sucio y poco preciso, de igual forma se requiere maquinar posteriormente los dados
<b>Resina rápida</b>	Impresión en 3D de dados en resina	Proceso limpio y preciso, se obtienen las piezas conforme al plano estipulado sin necesidad de rectificar los dados.

Fuente: Autores

Las plantillas para perforar todos los orificios se fabrican en resina rápida mediante la impresión en **3D** realizada por la correspondiente máquina.

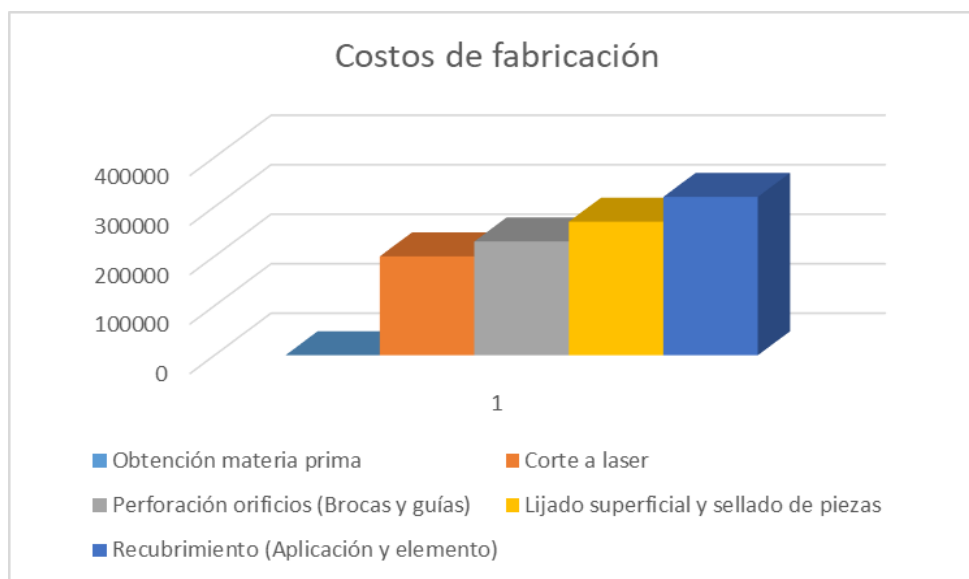
### 5.6.3 Costo de fabricación

**Tabla 30: Costos fabricación de piezas.**

OPERACIÓN	COSTO (Pesos)	ACUMULADO (Pesos)
Obtención materia prima	0	0
Corte a laser	200000	200000
Perforación orificios (Brocas y guías)	30000	230000
Lijado superficial y sellado de piezas	40000	270000
Recubrimiento (Aplicación y elemento)	50000	320000
<b>TOTAL</b>		320000

Fuente: Autores

**Figura 41: Grafica de costos.**



Fuente: Autores

Inicialmente para la fabricación de las piezas y componentes se corre con un costo de \$320.000 pesos colombianos, incluyendo la fabricación de guías para la perforación.

## 5.7 SEPTIMO PASO: Ensamble

### 5.7.1 Objetivos del DFMA

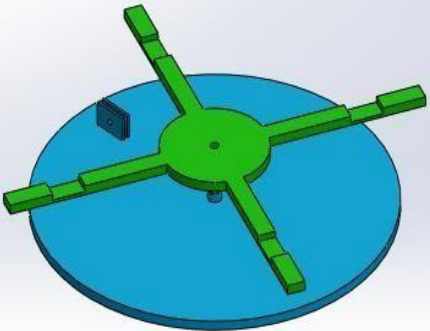
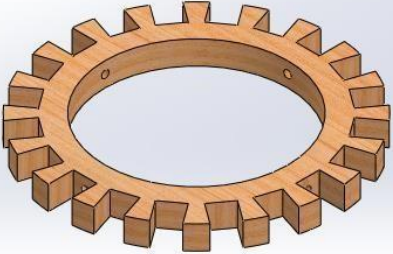
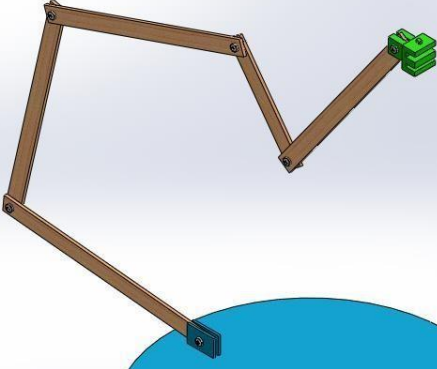
En este capítulo la guía metodológica establece como objetivo la optimización de procesos para el ensamble haciendo énfasis en la manipulación de piezas y componentes con orden, unión y ajustes, puesto a punto y verificación de montaje. Durante el ensamble no se descartaron actividades auxiliares de lijado y puesta a punto que no se mencionan, pero están ligadas al ensamble de los componentes.

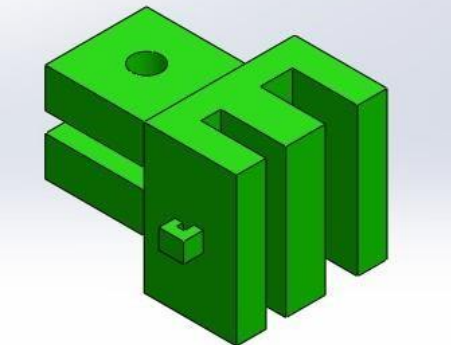
### 5.7.2 Montaje y automatización

La automatización de procesos es un aspecto importante para agilizar el armado de la luminaria y es así que la guía metodológica establece en el capítulo 6 distintos sectores a aplicar algún tipo de tecnología, para este caso se refiere *la asistencia al montaje manual* que involucra el uso de utillajes para facilitar al usuario el acople manual entre piezas, es por esto que en este proyecto se diseñaron y fabricaron las siguientes herramientas para ensamble



Tabla 31: Guías para ensamble.

NOMBRE	DISEÑO	CARACTERÍSTICAS
<p><b>MESA DE EMSAMBLE</b></p>		<p>Dispositivo en acero al carbono compuesto de:</p> <p><b>Soporte en cruz móvil:</b> Soporta los discos de sujeción y giran sobre la varilla central</p> <p><b>Base circular de soporte:</b> Soporte de dispositivo que permitirá sostener el brazo guía de ensamble.</p>
<p><b>DISCO GUIA</b></p>		<p>Dispositivo en madera que ira ubicada entre el disco superior y disco intermedio de la luminaria 1</p> <p>Nomenclatura: DG</p>
<p><b>BRAZO GUIA DE EMSAMBLE</b></p>		<p>Brazo en madera MDF que ayudará a ensamblar los listones con los discos (superior e inferior) de una forma rápida y precisa, ya que además sostendrá el disco guía, el cual tiene la tarea de unir y dar forma a la luminaria.</p>

<p><b>SOPORTE GUIA DE EMSAMBLE</b></p>		<p>Este soporte permite sujetar diferentes partes de la luminaria, en este caso el disco guía, quien unirá los 20 listones.</p>
--	--	---

Fuente: Autores

Con este dispositivo de ensamble se da cumplimiento al objetivo que establece la o las guías de ensamble para el montaje de la luminaria. Antes de describir el proceso de ensamble es importante relacionar los componentes y la nomenclatura denotada en la tabla 23 en la siguiente tabla:

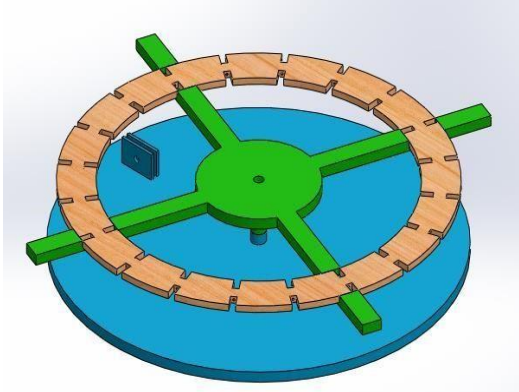
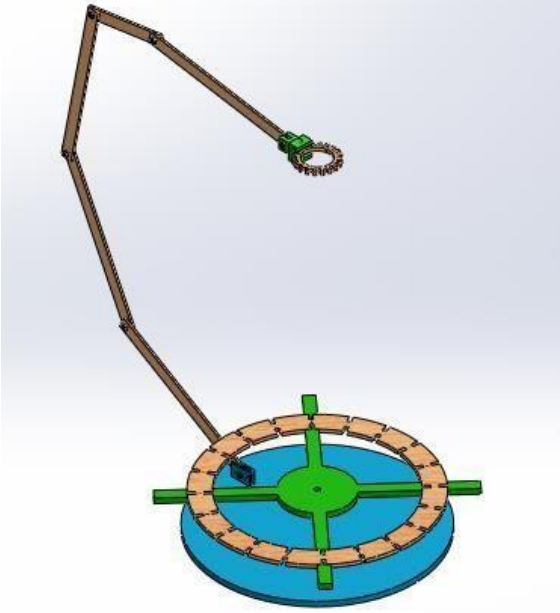
**Tabla 32: Componentes a ensamblar.**

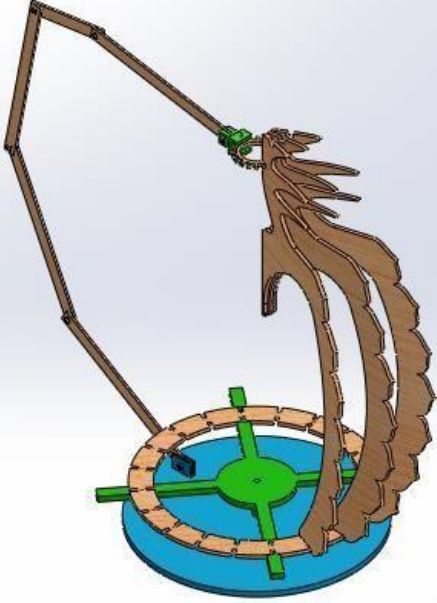
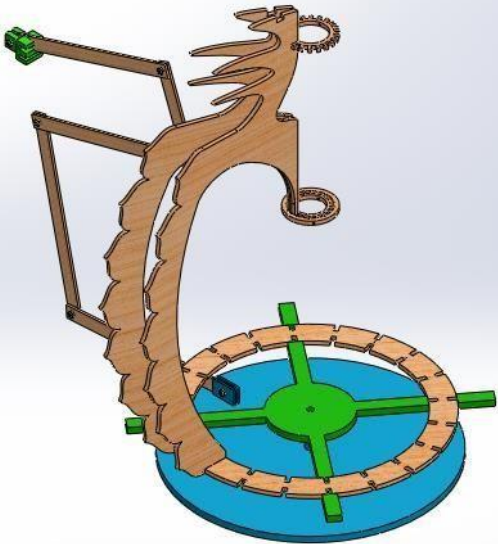
Componente	Nomenclatura	Cantidad
Disco superior	D1	1
Disco medio	Dm	1
Disco inferior	D2	1
Listón	L1	20
Portalámparas	B1	1
Pasadores	P1	15

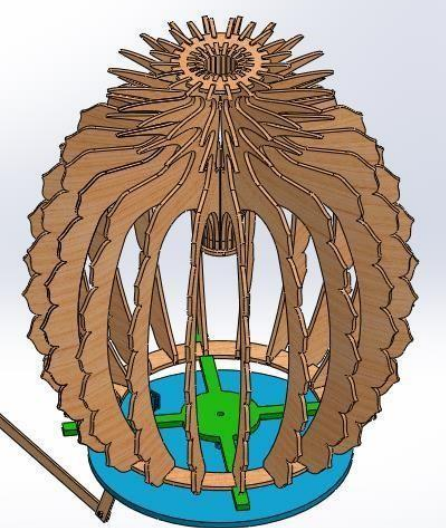
Fuente: Autores

5.7.2 *Ensamble Luminaria 1*

Tabla 33: Ensamble luminaria 1.

NOMBRE	DISEÑO	CARACTERÍSTICAS
<b>UBICACION DISCO INFERIOR</b>		<p>Se coloca el Disco inferior (D2) en el soporte en cruz para encajar el Disco, su función principal es que no se mueva la luminaria y permitir el giro de esta a la dirección deseada.</p>
<b>SUJECION DISCO GUIA CON BRAZO DE EMSAMBLE</b>		<p>El brazo permite sujetar el Disco guía (DG), este debe elevarse en cualquier posición para que los 20 listones (L1) se empiecen a unir uno por uno con el Disco inferior (D2), de esta manera se dará forma a la luminaria.</p>

<p><b>UBICACIÓN DE LISTONES EN LOS DISCOS SUPERIOR E INFERIOR</b></p>		<p>Luego de La unión de los listones(L1) se procede a quitar el brazo de sujeción del Disco guía (DG), para permitir ensamblar los listones (L1) restantes y a la vez colocar los pasadores (P1) y el resto de componentes de la luminaria.</p>
<p><b>COLOCACION DISCO CENTRAL DE SUJECION</b></p>		<p>Una vez colocados la gran mayoría de los listones (L1), se procede a colocar Disco medio (Dm) central de sujeción, que ayudara a soportar los listones (L1) y el portalámparas (B1) donde quedará ubicado el bombillo led.</p>

<p><b>EMSAMBLAJE TOTAL LAMPARA COLGANTE</b></p>		<p>La luminaria tipo piña debe utilizar sus pasadores (P1) en los orificios realizados por la guía de ensamble, luego se procede a colocar el portalámparas (B1) donde se ubicará el bombillo led.</p>
---	--	--

Fuente: Autores

A continuación, se relacionan las operaciones pertinentes para el ensamble de la luminaria 1:

**Tabla 34: Operaciones de ensamble.**

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
Operación 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicar el dispositivo para ensamble en una mesa de trabajo.</li> <li>• Sobre el ‘soporte en cruz móvil’ colocar el disco inferior de la luminaria y ajustar a la altura pertinente</li> </ul>
Operación 2	Ubicar los 5 listones [L1] perforados y ajustar al disco inferior [D2] (uno por uno) con 4 muescas de diferencia los elementos, también con disco guía [DG] como soporte para colocar los respectivos pasadores en la parte inferior
Operación 3	Es posible colocar el disco superior de sujeción [D1] para ajustar los listones y colocar pasadores (cantidad 5)
Operación 4	Retirar disco guía [DG] e instalar los listones restantes
Operación 5	Instalar el disco intermedio [Dm] junto a los últimos pasadores (Cantidad 5)
Operación 6	Retirar la carcasa armada del ‘soporte para ensamble’
Operación 7	Instalar el portalámparas [B1] a carcasa

Fuente: Autores

De acuerdo a la metodología del DFMA se obtiene el producto requerido, que cumple y satisface todos los requerimientos propuestos a continuación se ilustra la luminaria finalizada:

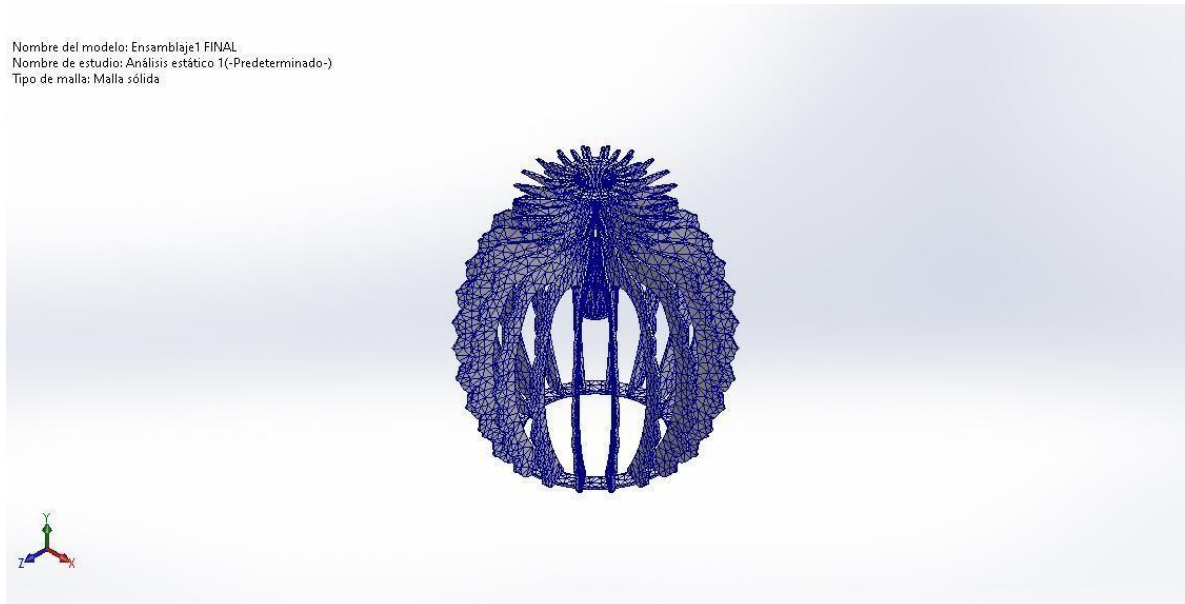
**Figura 42: Luminaria colgante en madera 1 – ‘La Piña’.**



Fuente: Autores

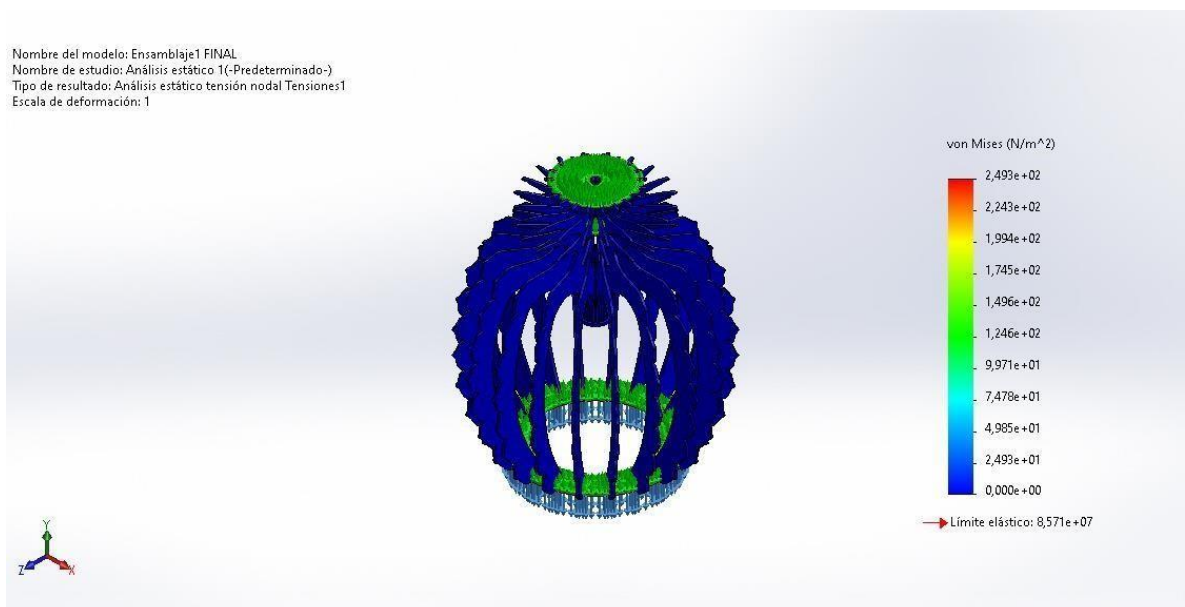
### 5.7.3 Simulación estática luminaria colgante en madera 1 – ‘La Piña’

**Figura 43: Control de maya ensamblaje.**

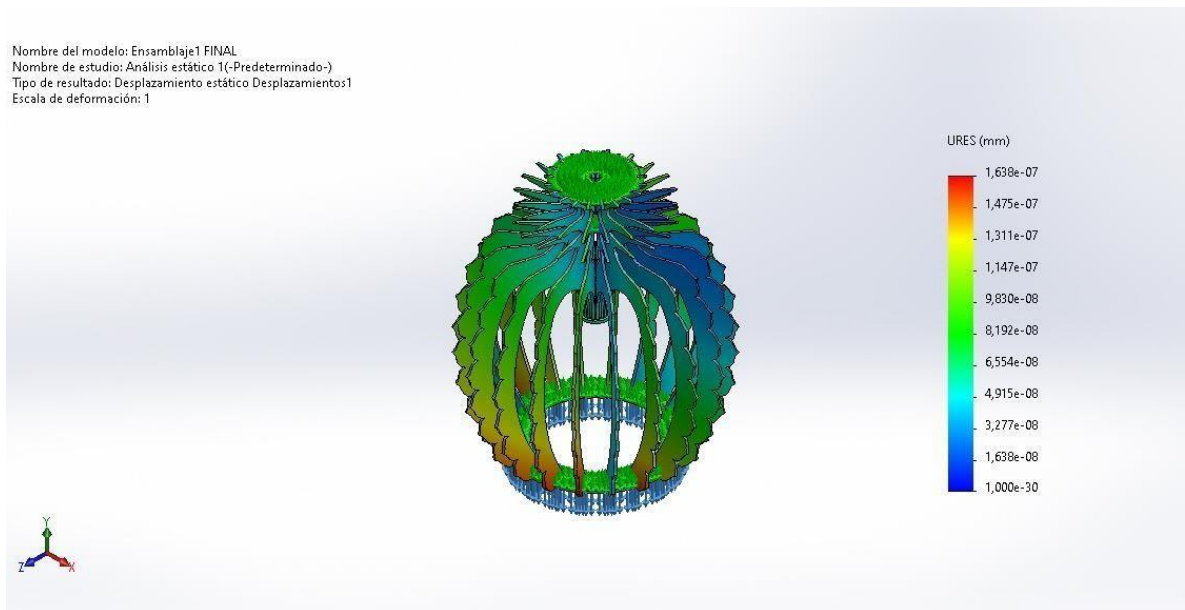


Fuente: Autores

**Figura 44: Deflexión.**



Fuente: Autores

**Figura 45: Resultado de estudio (Tensión de Von mises).**

Fuente: Autores



## 6 DISEÑO, FABRICACION Y MONTAJE DE LUMINARIA 2

Para este tipo de luminaria se aplicará el mismo proceso sistemático planteado en el capítulo anterior, destacando los parámetros de la metodología DFMA

### 6.1 PRIMER PASO: Definición de producto

En este numeral se relaciona las especificaciones y el documento de requerimientos para el segundo prototipo de la luminaria, estipulados en el capítulo 3 de la guía metodológica.

#### 6.1.1 Especificación del producto

Nuevamente se refieren los 14 aspectos o características a cumplirse por parte del diseñador y fabricante para el diseño, fabricación y montaje de la luminaria 2, estos aspectos se basan: función, dimensiones, movimientos, fuerzas, materiales, señales de control, fabricación y montaje, vida útil y mantenimiento, transporte, costos, seguridad e impacto ambiental (Numeral 3.1.1: Guía metodológica DFMA)

#### 6.1.2 Modelo de documento de especificación

El siguiente documento relaciona los requisitos y clasificados en las 14 categorías mencionadas en el numeral anterior para el segundo prototipo de luminaria.

**Tabla 35: Requerimientos de usuario para fabricación de luminaria 2.**

LUMINARIA COLGANTE EN MADERA 1		
<b>EMPRESA</b>		Tablecortes S.A.
<b>OBJETIVO</b>		Describir los requerimientos mínimos a cumplir por el segundo prototipo de luminaria colgante en madera.
<b>N.º</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>Descripción</b>

1	<b>Funcionales</b>	Se asignará un nombre al primer diseño del prototipo conforme a las características planteadas mediante unos bosquejos iniciales de diseño.
		<p>Este prototipo deberá iluminar y decorar interiores de hogares, comercios, zonas comunes cumpliendo los criterios de normatividad vigente en el país.</p> <p>Acorde a requerimientos normativos locales para este tipo de luminaria se contempla un rango de flujo luminoso entre 100 y 200 Luxes con un factor de deslumbramiento de 25 UGR</p>
2	<b>Dimensiones</b>	La luminaria tendrá dimensiones mínimas de 60x60x60 cm.
3	<b>Movimientos</b>	La luminaria será colgante (anclada al techo) por lo tanto será un elemento estático sin sometimiento a movimientos constantes.
4	<b>Fuerzas</b>	<p>El prototipo no estará sometido a fuerzas considerables a excepción de su propio peso.</p> <p>El portalámparas deberá soportar una fuerza a la torsión de 2.26 N como mínimo.</p>
5	<b>Energía</b>	<p>Se podrá conectar a un sistema ELÉCTRICO monofásico trifilar (Línea, Neutro y Tierra) con voltaje nominal de 120 VAC.</p> <p>La potencia máxima de la lámpara será de 30 W y permitirá la conexión de bombillas LED E27 en roseta tipo Mogul.</p> <p>Los conductores eléctricos deberán cumplir con los criterios de consumo eléctrico denotados en la NTC 2050</p>
6	<b>Materiales</b>	<p>La carcasa de la luminaria será fabricada netamente en madera MDF de espesores: 2,7 mm y 4,0 mm</p> <p>Se identificarán materiales alternativos para el sistema del portalámparas que cumpla con las condiciones de diseño modular estipuladas</p>

7	<b>Señales y control</b>	Se controlará el encendido o apagado desde sistemas de control “on/off” (interruptores)
8	<b>Fabricación y montaje</b>	Se implementa la metodología DFMA donde se destaca el diseño y ensamble MODULAR, teniendo en cuenta las directrices propuestas para esta técnica.
		Los ensambles destacarán ajustes deslizantes o con traba mecánica, estos con el fin de evitar el desarmado repentino durante funcionamiento.
9	<b>Transporte</b>	La luminaria contará con su respectivo empaque para ser embalado o distribuido conforme a sus características.
10	<b>Vida Útil y mantenimiento</b>	Se aplicará un recubrimiento de color a la estructura de la carcasa con el fin de preservar su vida útil.
		El mantenimiento involucra únicamente limpieza y cambio de bombilla por vida útil.
11	<b>Costos/Plazos</b>	Los costos generados se desprenden de la transformación de la madera, abarcando los utillajes para la fabricación y montaje como lo son las guías donde no se sobrepase el millón de pesos (1000000 m/cte.).
		Se contará con la materia prima desechada por la empresa Tablecortes S.A.
12	<b>Seguridad</b>	Las luminarias colgantes deberán cumplir con los criterios de iluminación estipulados en el RETILAP o en la ISO 6519:1
		Se deberá describir métodos de anclaje seguros para el montaje de la lámpara.
		NO deberá tener bordes cortantes ni astillas u otro aspecto que genere riesgo de accidentes.
13	<b>Impacto ambiental</b>	Como se ha descrito se aprovechará residuos que no se utilizan por la empresa Tablecortes para la fabricación de las carcasas, esto trae un impacto beneficioso al control de basuras y al uso del retal de madera desechado.

14	Aspectos legales	Los diseños de la luminaria deberán ser innovadores y originales, no existirá copia o plagio de otros prototipos.
----	------------------	---

Fuente: Autores

La anterior tabla relaciona un documento de especificaciones para que el o los diseñadores tengan presente las principales características a evaluar en la fabricación y montaje del primer prototipo de luminaria colgante en madera.

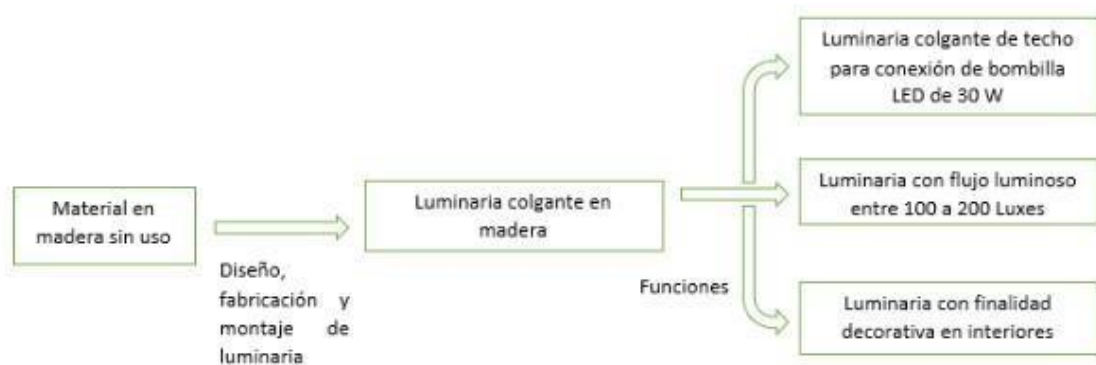
## 6.2 SEGUNDO PASO: Generación del concepto (Diseño conceptual)

Conforme al numeral 3.2. De la guía metodológica, se establece el diseño conceptual del segundo prototipo siguiendo las directrices del proceso de ingeniería inversa como método de solución.

### 6.2.1 Estructura funcional

Para el desarrollo del diseño conceptual el texto guía en el capítulo 3 numeral 3.2.1 propone como herramienta fundamental la realización de un diagrama de bloques donde se especifique la o las funciones del elemento a fabricar.

**Figura 46: Diagrama funcional de modelo de luminaria.**







Fuente: Autores

### 6.2.2 Generación de principios de solución

De igual forma se sigue el proceso denotado en la luminaria 1, aprovechando la identificación de características de luminarias colgantes encontradas en la página WEB 'PINTEREST' e identificadas a continuación:

**Tabla 36: Luminarias colgantes en madera para análisis de Ingeniería inversa.**

No	Nombre de Luminaria	Diseño	Características
1	<p><b>Luminaria colgante Pinecone [41]</b></p>		<p>En el diseño de esta luminaria colgante se ilustra un llamativo modelo en forma de semilla de pino con características particulares como el diseño de sus hojas y el portalámparas con cable flexible.</p> <p>Se evidencia el método de acople o ajuste, esto mediante tornillos.</p>
2	<p><b>Luminaria colgante Pinecone [41]</b></p>		<p>Modelo de luminaria en roble europeo que guarda las mismas características del diseño anterior con la peculiaridad que sus hojas están pintadas de color negro o blanco.</p> <p>Se comercializa a un precio de 51,5 dólares y se encuentran con diámetro de 25, 40, 50 y 60 cm</p>

3	<p><b>Luminaria colgante en madera clara</b></p> <p>[42]</p>		<p>El diseño muestra una luminaria de la compañía <b>Ronny Buarøy</b> se compone de 10 listones, 5 de ellos son diferentes a los otros pues unos alojan 3 hojas y el otro solo 2, intercalados entre sí.</p> <p>Tiene un disco de sujeción intermedio para sujeción del portalámparas con cable flexible.</p>
4	<p><b>Luminaria colgante Pinecone Chandelier</b></p> <p>[42]</p>		<p>Esta luminaria Pinecone Chandelier destaca 12 listones con ranuras y 2 discos de sujeción (superior e inferior). Su hoja tiene forma de pentágono, siendo todas iguales en dimensión.</p>

5	<p><b>Luminaria colgante AYC</b> [41]</p>		<p>Luminaria colgante de material no especificado de la compañía AYC, su silueta ilustra un tipo de rosa con unos pétalos llamativos en un material traslucido.</p>
---	---	---	---

Fuente: Autores

Ahora se relacionan los aspectos que llaman la atención y son importantes para el desarrollo del diseño del segundo prototipo de luminaria:

**Tabla 37: Características de luminarias a analizar.**

Luminaria	Aspectos importantes	Ideas obtenidas y mejoras
1	<p>Del primer diseño se destaca la silueta y el arreglo de sus hojas en todo alrededor; se identifica un ensamble mediante tornillos.</p>	<p>Desde la perspectiva la luminaria 2 vislumbrará una forma similar a este diseño con la condición de que sus hojas no se ajustaran mediante tornillos.</p> <p>El portalámparas será de cable flexible.</p>
2	<p>De este diseño llama la atención el color de las luminarias e igualmente su forma.</p>	<p>Para el segundo prototipo se establece que debe ser pintada con un color llamativo para decoración de interiores</p>

3	Esta luminaria para lograr la disposición de las hojas tiene la mitad de sus listones diferentes a los restantes	Se deberá tener una disposición intercaladas de las hojas de la luminaria, es decir 2 tipos de listones.
4	Llama la atención de este diseño los 2 discos de sujeción los cuales son dentados y similares a lo expuesto en el diseño del primer prototipo.	Se contará con 2 discos de sujeción con la mejora de que estos se incrustaran a los listones como en el diseño del primer prototipo de luminaria (Capitulo 5)
5	De este diseño llama la atención los pétalos pues de cierto modo parecen hojas de árbol	Se diseñará una hoja de árbol para ensamblar alrededor de la luminaria

Fuente: Autores

### **6.2.3 CONCEPTO PARA EL DISEÑO DE LA LUMINARIA 2:**

1. El diseño contempla como mínimo un disco inferior de sujeción y uno superior.
2. Se diseñará 2 tipos de listones para distribución de hojas en la carcasa (14 listones en total).
3. El disco superior servirá de soporte para sujeción del portalámparas de cable flexible.
4. El diseño final tendrá características minimalistas y simétricas estándar donde se permita el flujo luminoso desde la bombilla hacia abajo, la bombilla estará ubicada en la parte superior de la carcasa.
5. La disposición de la carcasa visualmente vislumbrara la figura Pinecone (Descrita anteriormente) alrededor del portalámparas.
6. Se diseñará una hoja estándar que se replique la cantidad de veces requerida, la luminaria llevará el nombre de 'HOJAS'.
7. El diámetro mínimo de la carcasa tendrá una dimensión de 60 cm y de esta forma se genera el siguiente bosquejo.



**Figura 47: Bosquejo de prototipo luminaria 2 - 'Hojas'.**



Fuente: Autores

### **6.3 TERCER PASO: Diseño de materialización**

Se analizan las etapas propuestas por Pahl y Beitz con el fin de establecer paso a paso el mejor diseño gráfico que se desea ejecutar.

#### **6.3.1 Etapa 1: Identificar requerimientos limitadores**

Este prototipo de luminaria cumple requisitos generales que limitan los parámetros de diseño haciendo más fácil su determinación, entre estos aspectos limitadores se encuentran:

**Tabla 38: Requerimientos limitadores de diseño.**

ASPECTOS	LUMINARIA 1 - LA PIÑA
<b>Funcionales</b>	El diseño identificará una luminaria colgante en madera para iluminación y decoración de interiores.
<b>Prestaciones exigidas (fuerzas)</b>	Masa máxima de <i>carcasa</i> estimada 5 kg.
<b>Dimensiones</b>	Medidas mínimas de 60 x 60 x 60 cm.
<b>Exigencias ergonómicas (Seguridad)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No bordes corto punzante, o astillas.</li> <li>• Descripción de métodos de anclaje efectivos al techo (chazos metálicos o plásticos).</li> <li>• El deslumbramiento de la luminaria no deberá superar los 25 UGR.</li> <li>• Iluminancia entre 100 y 200 Luxes.</li> </ul>
<b>Incidencias ambientales</b>	No deberá generar algún tipo de contaminación ambiental.
<b>Tecnologías disponibles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Métodos de corte:</b> el corte por láser se contempla en el proceso de fabricación.</li> <li>• Plantillas para fabricación y guías de ensamble.</li> </ul>
<b>Mantenimiento</b>	Se recurrirá a un recubrimiento de color con el fin de evitar mantenimientos.
<b>Limitaciones de costo</b>	Se plantea un presupuesto máximo para la fabricación de la luminaria de \$1'000.000 de pesos.

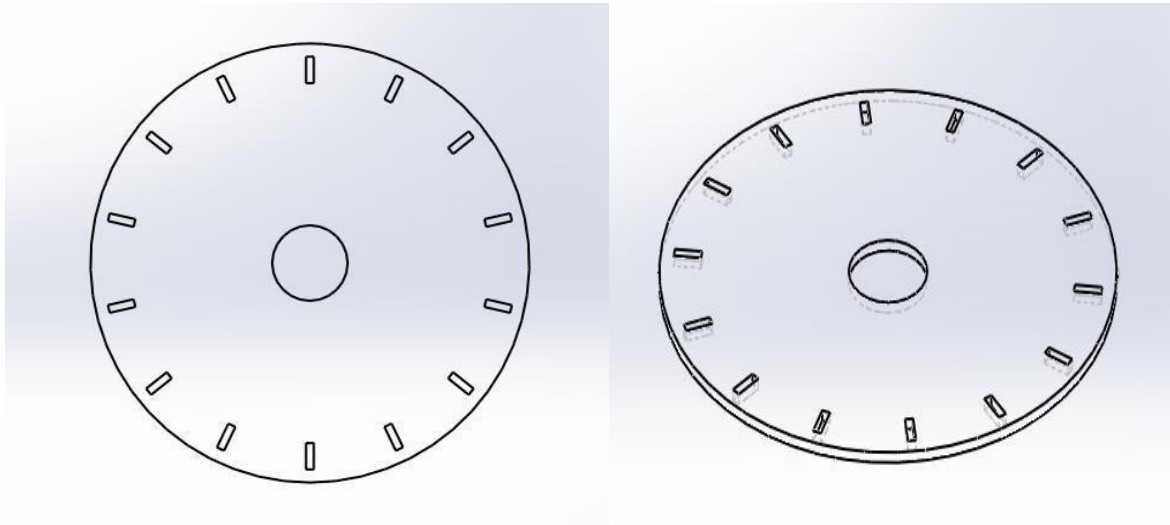
Fuente: Autores

### 6.3.2 Etapa 2: Funciones y parámetros críticos

Esta luminaria tendrá un diseño innovador y atractivo a la vista para decoración de interiores, siendo *la carcasa* el punto crítico de diseño. A continuación, se ilustran unos bosquejos realizados a ensayo y error de los aspectos críticos de la carcasa (disco superior de anclaje, disco inferior, hojas y listones) modelamientos realizados en SolidWorks.

*Disco superior de anclaje*

**Figura 48: Modelamiento disco superior.**



Fuente: Autores

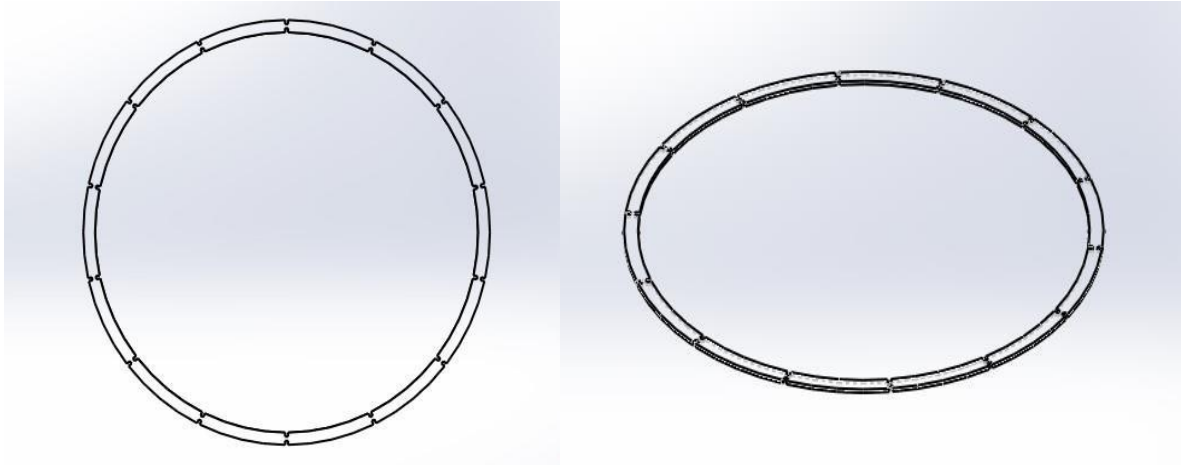
**Tabla 39: Descripción de diseño disco superior.**

PROCESO	DESCRIPCION
<p><i>Software</i> <b>SOLIDWORKS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Se crea un plano de planta.</li> <li><input type="checkbox"/> El programa tiene la opción ‘croquis’ el cual permite dibujar dos círculos, se deben acotar con las medidas requeridas del disco superior.</li> <li><input type="checkbox"/> En ‘operaciones’ se debe ‘extruir saliente/base’ hasta dar la forma de aro, luego se procede a acotar las partes que permiten ‘extruir’ el corte y permite realizar las muescas rectangulares para ensamblar los listones.</li> </ul>

Fuente: Autores

## Disco inferior de anclaje

**Figura 49: Modelamientos iniciales disco inferior.**



Fuente: Autores

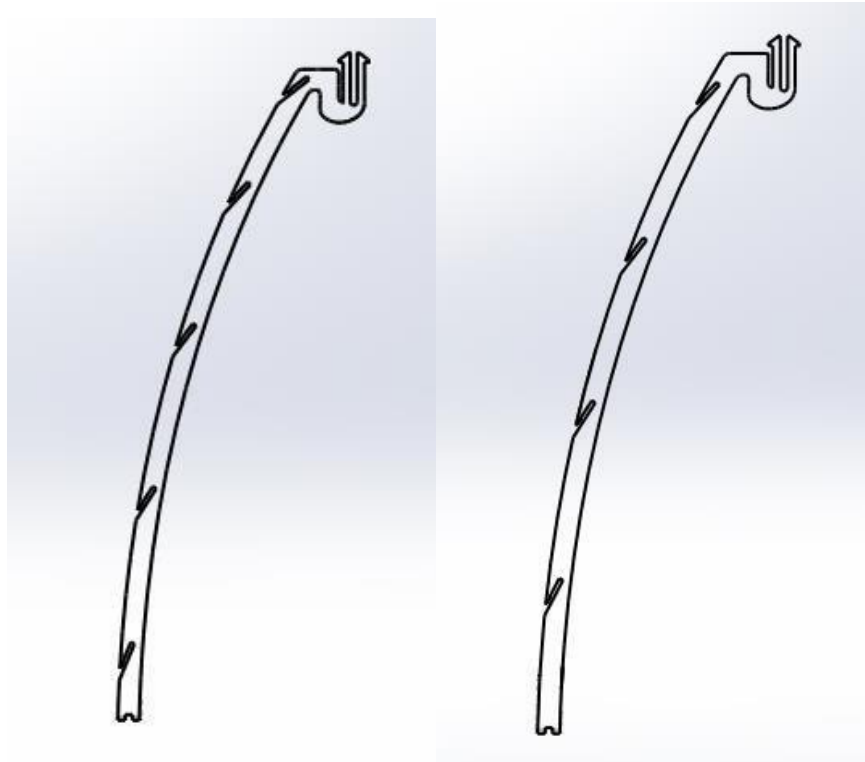
**Tabla 40: Descripción dibujo discos inferiores.**

PROCESO	DESCRIPCION
<p><i>Software</i> <b>SOLIDWORKS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Se realiza el aro inferior creando un plano de planta.</li> <li><input type="checkbox"/> En 'croquis' se dibuja dos círculos con las medidas correspondientes a el diseño.</li> <li><input type="checkbox"/> En operaciones se debe 'extruir saliente/base' hasta dar con el espesor del aro.</li> <li><input type="checkbox"/> Se dibujan y se 'extruye' los orificios requeridos en donde el listón ensambla y se apoya para dar forma al disco inferior.</li> </ul>

Fuente: Autores

## Listón

Figura 50: Modelamientos de listones A y B



Fuente: Autores

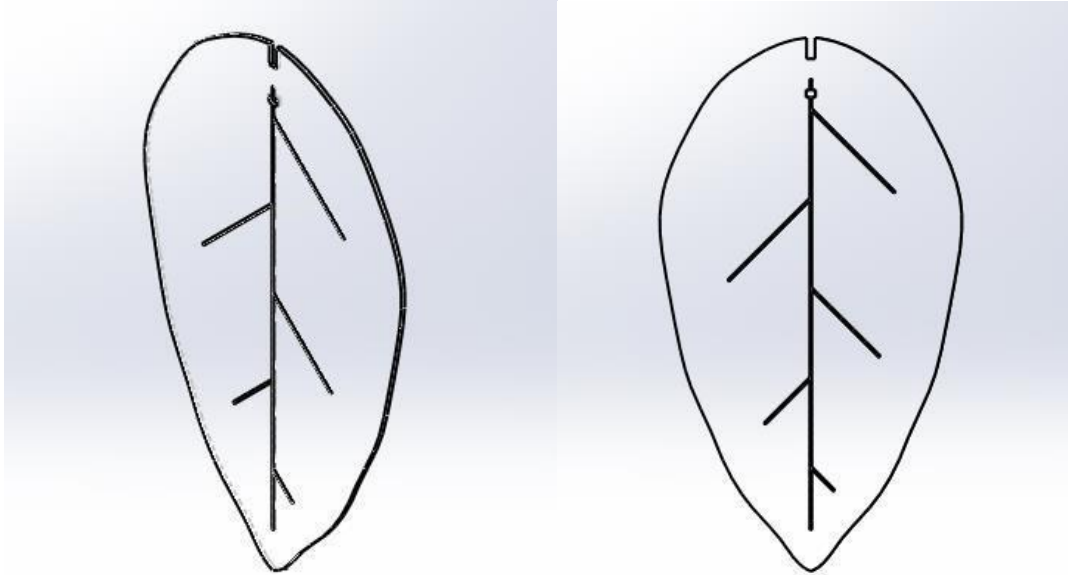
Tabla 41: Descripción dibujo de listones.

PROCESO	DESCRIPCION
<p><i>Software</i> <b>SOLIDWORKS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="548 1325 1424 1472">□ Para diseñar los listones se debe crear un plano alzado, en ‘croquis’ se utiliza líneas y ‘spline’ para dar la forma curva en la parte superior del listón y en la parte exterior para dar la forma saliente y en punta del listón.</li> <li data-bbox="548 1472 1424 1591">□ Se procede en operaciones a ‘extruir’ saliente base/base para dar el espesor deseado, hacer los redondeos para quitar la forma áspera en las partes pronunciadas.</li> <li data-bbox="548 1591 1424 1669">□ En operaciones ‘extruir’ el corte para dar la forma en donde el listón ensambla con el disco tanto superior como inferior.</li> </ul>

Fuente: Autores

## Hoja

**Figura 51: Modelamiento de hojas**



Fuente: Autores

**Tabla 42: Descripción de hojas.**



PROCESO	DESCRIPCION
<p><i>Software</i> <b>SOLIDWORKS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Para diseñar la hoja se debe crear un plano alzado, en ‘croquis’ se utiliza ‘arco de tres puntas’ para dar la forma de hoja. Se procede en operaciones a ‘extruir’ saliente base/base para dar el espesor deseado.</li> <li><input type="checkbox"/> En operaciones ‘extruir’ el corte para dar la forma de la muesca que ensambla en el listón y ‘el mismo espesor el cuadro pequeño en donde la hoja ajusta con el listón.</li> <li><input type="checkbox"/> En ‘croquis’ se selecciona ‘línea’ y se dibuja sobre la hoja las líneas que ilustran los nervios de una real.</li> </ul>

Fuente: Autores

### 6.3.3 Etapa 3: Alternativas preliminares de diseño

En esta etapa se analizan 2 bosquejos realizados en **SolidWorks**, donde se involucran las soluciones preliminares al diseño inicial.

**Tabla 43: Descripción de alternativas de carcasa.**

Modelo	Dibujo	Descripción
1		<p>Diseño en con 14 listones soportados por un aro superior y otro inferior, las dimensiones de la carcasa son 60 x 60 cm (Altura y diámetro). Se presentan 28 hojas intercaladas.</p>
2		<p>Este modelamiento presenta un disco superior de mayor diámetro y con listones alargados para que cada uno pueda soportar de 4-5 hojas (63 hojas en total)</p>

Fuente: Autores

Se postulan estos diseños para la elección del que será el prototipo final a fabricar para el segundo tipo de luminaria ‘HOJAS’.

#### 6.3.4 Etapa 4: Evaluación de alternativas y elección de prototipos finales

La selección del diseño a materializar tiene que dar respuesta a los requerimientos limitadores a través de una lista de referencia donde se evalúa estos criterios determinando el modelo adecuado. La tabla a continuación demuestra el método de evaluación utilizado, donde se otorga unos valores numéricos equivalentes a 3-BUENO, 2-REGULAR y 1-MALO para la ponderación y selección del modelo adecuado:

**Tabla 44: Evaluación de modelos - luminaria 1.**

<b>Evaluación de modelos - Luminaria No 1 ‘Piña’</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Modelo 1</b>	<b>Modelo 2</b>
¿Cumple con los requerimientos funcionales?	2	3
¿Su materialización puede ser sencilla, eficaz y económica?	3	3
¿El diseño proporciona durabilidad y resistencia en acoples?	3	3
¿El diseño responde a características de estética y embellecimiento de interiores?	3	3
¿Se ofrece versatilidad y sencillez/ El diseño no es robusto?	3	2
¿Presenta un proceso de fabricación sencillo?	2	2
¿Se requerirán pocos utillajes para su fabricación?	2	3
¿Los procesos de montaje son simples?	3	3



¿El diseño cumple a cabalidad con los criterios y la aceptación definida para su posterior fabricación y montaje?	3	3
¿El sistema ofrece seguridad?	3	3
<b>RESULTADO</b>	27	<b>28</b>

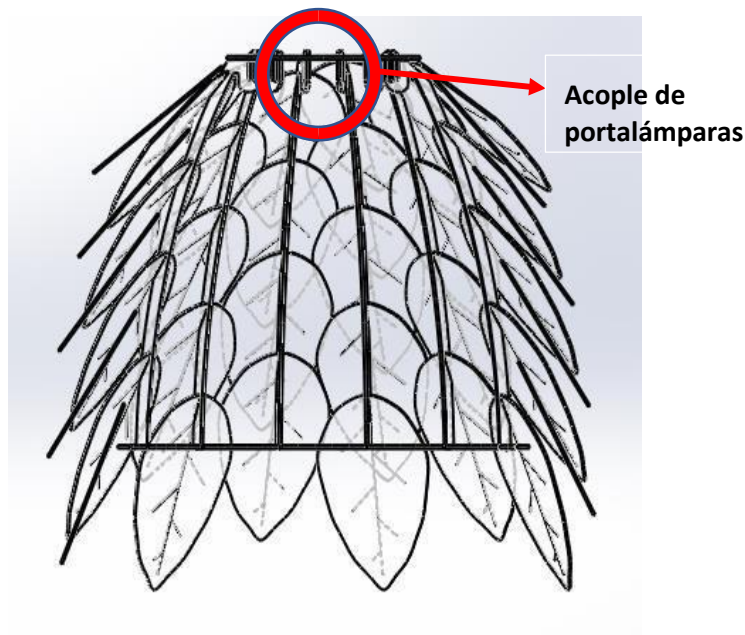
Fuente: Autores

De acuerdo a la tabla anterior el diseño de la luminaria a realizar para el prototipo 2 con las características requeridas es el modelo número 2 ilustrado en la tabla 42.

### 6.3.5 Etapa 5: Materializar las restantes funciones

Conjuntamente se tiene la idea global del diseño final y es a través de la siguiente imagen que se complementa parcialmente el bosquejo seleccionado para su fabricación y montaje de manera modular.

**Figura 52: Acople de Portalámparas.**



Fuente: Autores

En la imagen anterior se evidencia un disco superior con una abertura en el cual se acopla el portalámparas donde se conectará la bombilla LED E27.

### **6.3.6 Etapa 6: Materialización completa del diseño provisional:**

Se presenta el diseño completo dando solución a demás requerimientos característicos para el primer prototipo ubicando las partes generales que componen una luminaria colgante para decoración de interiores, en el modelamiento de la imagen 47 se propone una longitud máxima total de 1.50 m y un diámetro en luminaria de 66.7 cm; cabe resaltar que en esta etapa los diseños serán preliminares no descartando cambios en el mismo, acorde al proceso de fabricación y/o montaje.

**Figura 53: Diseño de carcasa en madera ‘HOJAS’.**



Fuente: Autores

### **6.3.7 Etapa 7 Evaluar y validar el diseño de materialización.**

En esta etapa se concluye que este diseño cumple con los requerimientos de usuario postulados inicialmente, este diseño preliminar se analizará junto a la ingeniería de detalle mostrando demás facetas cualitativas en la luminaria a fabricar.

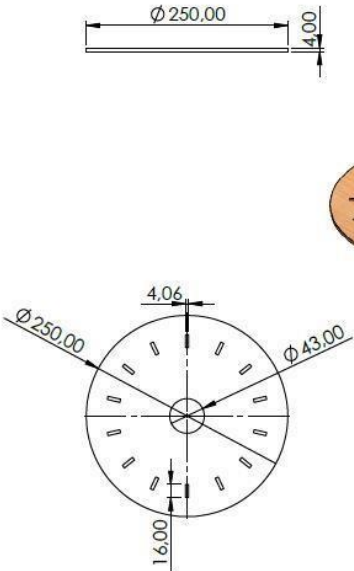
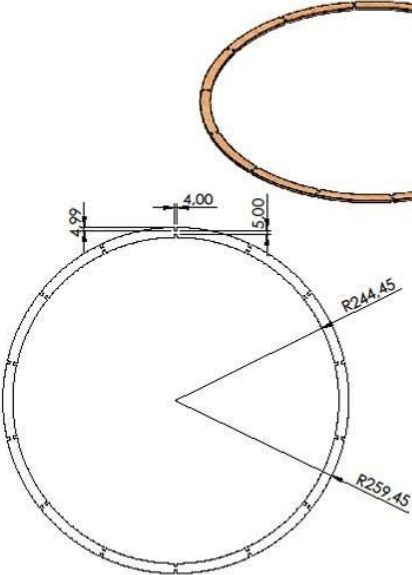
## **6.4 CUARTO PASO: Diseño de detalle**

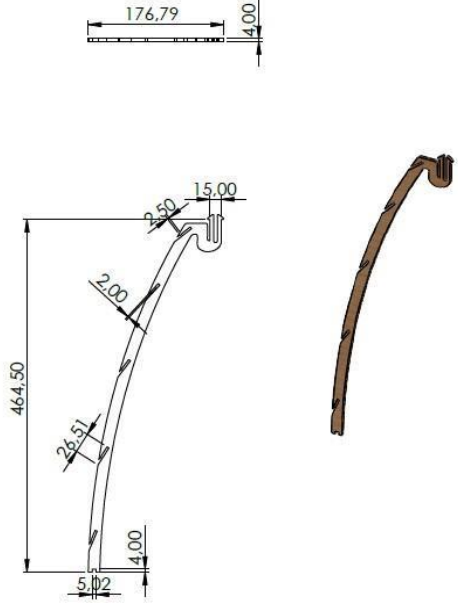
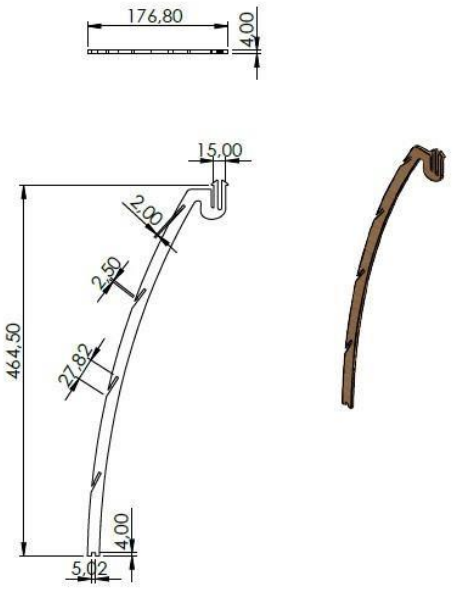
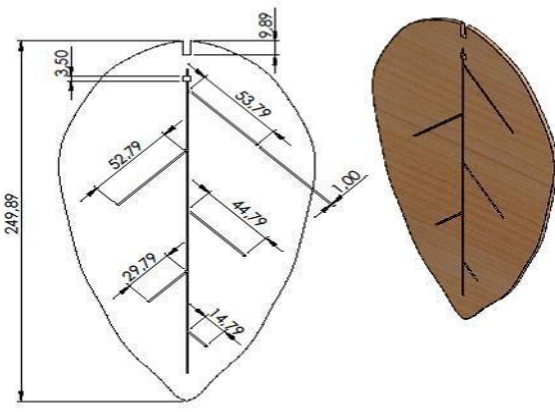
Al igual que el primer prototipo de luminaria, el objetivo es proporcionar aquella información específica donde se destacan los planos de piezas, procedimientos de fabricación y montaje, en este aspecto se solucionarán aspectos concretos de componentes, dimensiones y recubrimientos.

### 6.4.1 Determinación de Piezas y componentes

Siguiendo el método descriptivo por prototipo de diseño, a continuación, se ilustra las formas y geometrías de cada componente de la luminaria 2.

Tabla 45: Piezas y componentes.

COMPONENTE	DISEÑO FINAL	CARACTERÍSTICAS
<p><b>Disco superior de anclaje</b></p>		<p>Disco con diámetro de 250 mm con abertura central de 43 mm para abarcar el portalámparas</p> <p>Tiene 14 orificios rectangulares para ajuste de la misma cantidad de listones.</p>
<p><b>Disco Inferior de anclaje</b></p>		<p>Disco dentado de radio igual a 259,45 mm con 14 muescas de dimensiones 5,0 x 4,0 mm con el fin de ajustarse a los listones en la parte inferior.</p>

<p><b>Listón A</b></p>		<p>Listón con una longitud de 464,50 mm con 5 muescas de 2,78 mm con preñe o pin de 2,0 mm para sujeción y ajuste en aberturas de hoja.</p> <p>En sus extremos se encuentran las aberturas para ajustes denotados en el capítulo de arquitectura y modularidad.</p>
<p><b>Listón B</b></p>		<p>Elemento con las mismas características del Listón A, difiere en la ubicación longitudinal de las muescas con el fin de intercalar las hojas en el correspondiente montaje.</p>
<p><b>Hoja</b></p>		<p>Pieza en forma de hoja con una longitud de 249,9 mm; posee dos aberturas para sujeción al listón y unas líneas que simulan los nervios de la hoja de espesor de 1,0 mm</p>

Fuente: Autores

Al presente documento se anexan los planos de los componentes con las correspondientes dimensiones como las ilustradas en la tabla anterior.

#### 6.4.2 *Materiales*

##### a) Madera MDF (Tableros de fibra de densidad media):

Es uno de los tipos de madera más usados en la construcción de muebles y objetos encargados de decorar interiores, consiste en fibras de madera prensadas en forma de tableros junto a resinas que le dan una mayor durabilidad, resistencia y buen manejo al corte con herramientas, esta madera es de precio asequible en comparación de otras especies, por tal motivo es la principal materia prima a tener en cuenta en la fabricación de enseres o acabados. La superficie es apta para ser pintada, no presenta mayores deformaciones en sus dimensiones, pero de igual forma no se recomienda para uso en exteriores solamente para ambientes secos, aunque a pesar de esto es atacado por hongos que pueden acelerar el desgaste. En la siguiente se relacionan algunas propiedades tecnológicas del material.

**Tabla 46: Características del MDF [40]**

ASPECTO	MDF
Resistencia a tracción	0,70 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a flexión	22 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	2500 N/mm <sup>2</sup>
Limite elástico	150 Mpa
Espesores	2,7 y 4,0 mm
Presentación comercial	Se encuentran en forma de láminas de dimensiones de 1,20 x 2,44 m

<p style="text-align: center;"><b>Aspecto superficial</b></p>	<p>El MDF presenta una superficie lisa, sin abolladuras junto a un color café claro sobre su superficie. Es posible pintar esta madera sin inconvenientes.</p>
---	--

Fuente: eurofirst. (21 de mayo de 2014). *eurofirst*. Obtenido de Descripción técnica de las trampillas TVS - MDF y sus materiales: <https://www.calixtofernandez.com/files/ficheros/Trampillas/Ficha-tecnica-MDF.pdf>

Cabe resaltar que desde el inicio se planteó la elección de este material para la fabricación del segundo tipo de luminaria, puesto que de este material es posible encontrar en buenas cantidades en la empresa Tablecortes.

**Figura 54: Corte Transversal (izquierda) y superficie (derecha) MDF [22]**



Fuente: mdec. (09 de abril de 2018). *mdec maderas de profesionales*. Obtenido de MDF y Aglomerado, ¿en qué se diferencian?: <https://www.emedec.com/mdfaglomeradoen-que-se-diferencian/>

### 6.4.3 Materiales complementarios

#### a) Selección de componentes eléctricos (Cables o conductores)

Se plantea la elección de conductores como mínimo **18 AWG** conforme a los criterios establecidos por la NTC 2050 y mencionados en la tabla a continuación:

**Tabla 47: Criterios de cumplimiento mínimo para conductores eléctricos.**

NTC 2050 CAPÍTULO 4: EQUIPOS PARA USO GENERAL; Sección 400: 'Cordones y cables flexibles'		
Aspecto	Criterio	Sección NTC 2050
1	Los conductores flexibles y accesorios deben ser adecuados para su uso e instalación	Sección 400-3
2	Los conductores no deben tener una sección transversal menor a 18 AWG (0,82 mm <sup>2</sup> )	Sección 402-6
3	Los conductores deben estar etiquetados con la sección transversal y el tipo de aislamiento	Sección 400-6
4	Debe estar identificado el conductor de puesta a tierra y diferenciado de los demás conductores	Sección 400-22
5	Los cables flexibles son aptos para uso en artefactos colgantes	Sección 400-7
6	Los cordones flexibles no deben entablar tracción en empalmes entre cables y dispositivos (Cable-roseta)	Sección 400-17

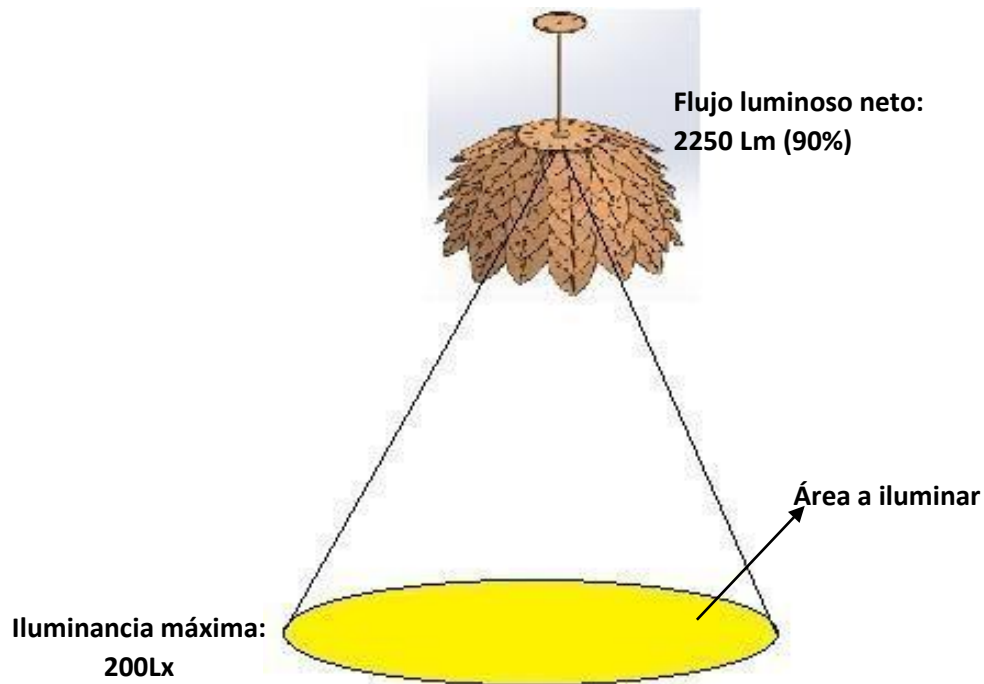
Fuente: Autores

El proceso para calcular la corriente eléctrica de esta luminaria será igual al calculado para el prototipo 1, de esta forma el corriente del conductor será de **0,625 A**

#### b) Selección de lámpara o bombilla

Este tipo de luminaria se puede clasificar como luminaria directa, donde el flujo luminoso se aprovecha entre un 90% y 100%, de igual forma se selecciona una bombilla de 30 W con 2500 Lm de flujo luminoso. A continuación, se ilustra la disposición de la luminaria 2 en el interior de un recinto.

**Figura 55: Disposición para iluminación de luminaria 2.**



Fuente: Autores

Se calcula el área a iluminar con el valor máximo de iluminancia de 200Lx (determinado en el RETILAP), con la expresión:

- $\text{Área} = \text{Flujo luminoso neto} / \text{iluminancia}$
- $\text{Área} = 2250 \text{ Lm} / 200 \text{ Lx} = 11,25 \text{ m}^2$

También es necesario establecer la altura a la que se debe instalar la luminaria para mantener los niveles de iluminancia máximos, ya con el área calculada se procede a determinar la correspondiente altura de la siguiente manera:

*Determinar el radio del círculo que representa el área a iluminar*

- $\text{Área del círculo} = \pi * r^2$
- $R = \sqrt{(11,25/\pi)} = 3,58 \text{ m}$

El radio interno del disco inferior de la luminaria tiene un valor de 24,5 cm y está a una distancia aproximada a la lámpara de 40 cm. Con estos valores es posible calcular el ángulo teórico de apertura del haz de luz con análisis de triángulos rectángulos con la tangente del ángulo:

- $\text{Tan } \emptyset = \text{CO} / \text{CA} = 24,5 / 40,0 = 0,61$
- $\emptyset = \text{Tan}^{-1} 0,61 = 31,4^\circ$

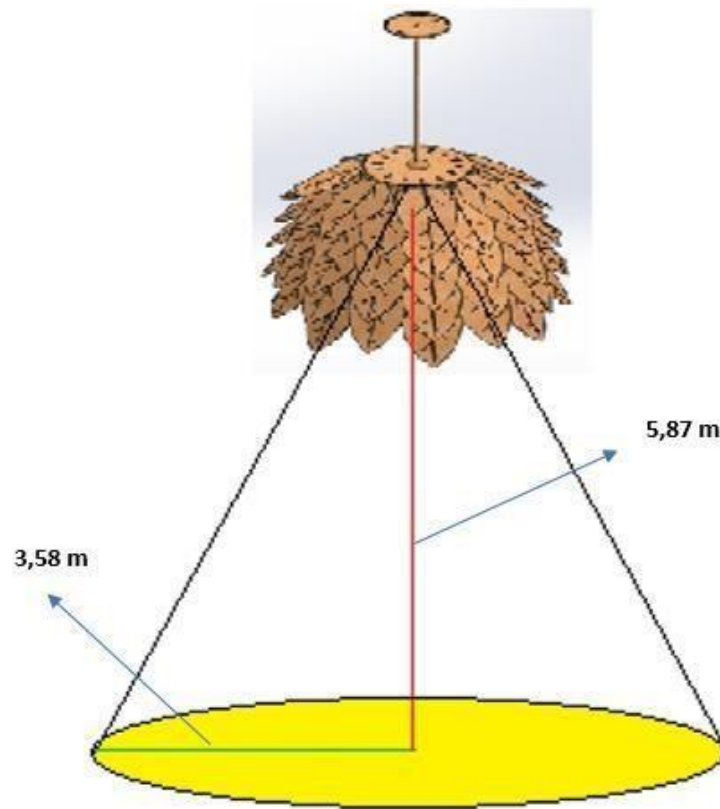


*La altura que se desea encontrar estará dada por:*

- $\text{Tan } 31,4^\circ = 3,58 \text{ (R) / Altura}$
- **Altura mínima:**  $3,58 / \text{Tan } 31,4^\circ = 5,87 \text{ m}$

Es posible instalar a la luminaria una lámpara de 2500 Lumen siempre y cuando se cumpla con la altura mínima calculada para mantener un valor de 200Lx sobre el suelo o área de trabajo.

**Figura 56: Altura mínima para bombillas de 2500 Lm (30W) – Luminaria 2.**



Fuente: Autores

Se retoma la expresión para el cálculo del índice de deslumbramiento (UGR) directo de la lámpara y que se relaciona a continuación:

**Figura 57: Expresión para el cálculo de UGR.**

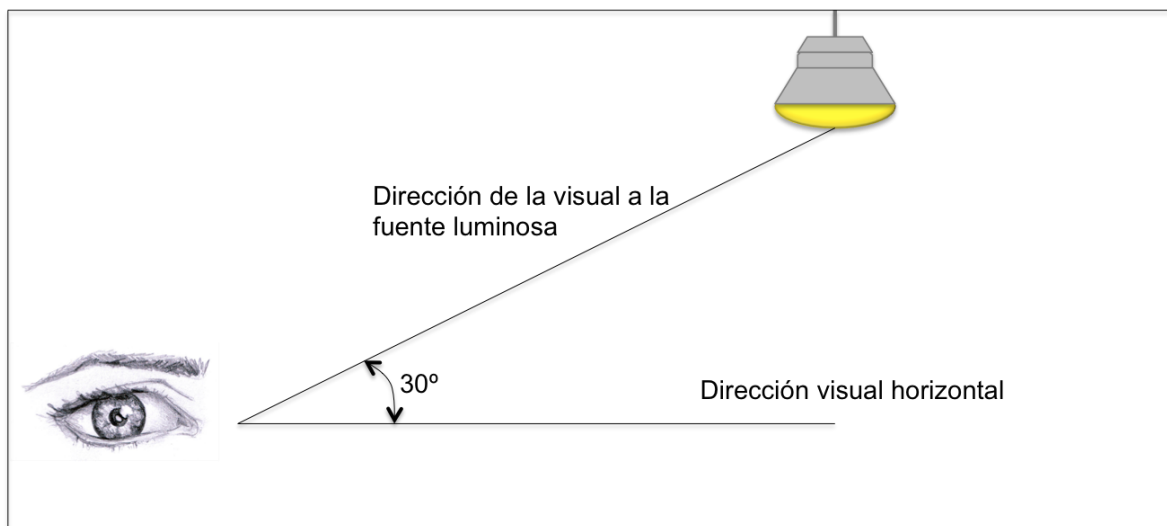
$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

Fuente: Retilap

Para el cálculo del UGR de la luminaria 2 (Máximo 25), se contemplan los siguientes datos:

- $L = 2250 \text{ Lx}$  ( $2250 \text{ Lm} / 1 \text{ m}^2$ )
  - $\omega = 11,25 \text{ m}^2 / (5,87 \text{ m})^2 = 0,33$
  - $p = \text{Índice de posicionamiento de Guth}$ ; Se estima un ángulo crítico de  $30^\circ$  así como se muestra a continuación.

**Figura 58: Ángulo crítico de deslumbramiento.**



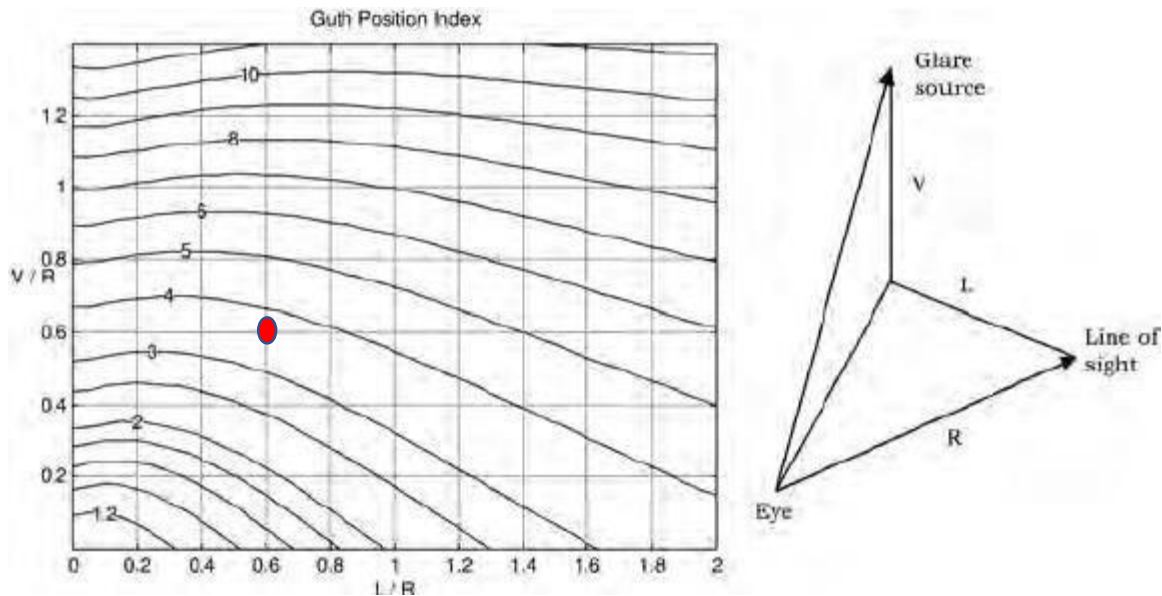
Fuente: diseño, r. d. (s.f.). *requisitos de diseño*. Obtenido de deslumbramiento: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/disenProyecto-requisitosDiseno.php>

Para hallar el índice correspondiente se tiene en cuenta la gráfica izquierda de la imagen 58 y la disposición de los valores de las distancias V, L y R ilustradas en la parte derecha de la misma imagen; se asume que R será igual al radio del área iluminada (**3,58 m**), V y L tendrán la misma magnitud que será igual a la tangente del ángulo crítico por el valor de R ( $\text{Tan } 30^\circ * 3,58 = \mathbf{2,06 \text{ m}}$ ).

Para la selección de valor en el eje de las abscisas de la gráfica se divide L/R siendo igual a 0,6; de igual forma en el eje coordenado se divide el valor de V y R obteniendo la misma

magnitud 0,6 se relacionan estos puntos y la intersección de estas sobre la curva, determina el índice de posición de Guth.

**Figura 59: Índice de posición de Guth.**



Fuente: blog, e. l. (s.f.). *efecto led blog*. Obtenido de Qué es el UGR o Índice de Deslumbramiento Unificado: <https://www.efectoled.com/blog/es/ugrindicedeslumbramiento-unificado/#content>

Conforme al punto obtenido se asumirá una curva intermedia con valor a 3,5 que refiere el índice de posición de Guth.

- $L_b = \frac{2250}{3.1416} = 716,20$

De este modo se reemplaza los datos en la expresión para cálculo de UGR


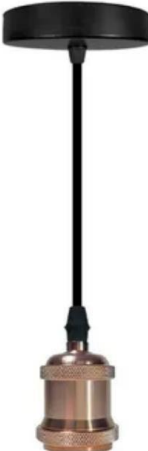
- $UGR = 8 \cdot \log_{10}[(0,25/716,2) \cdot (2250^2 \cdot 0,33) / (3,5^2)]$
- **UGR = 13,42**


Es conveniente usar una luminaria de 2500 Lm para este prototipo de luminaria con una potencia de 30 W, para este proyecto se ha seleccionado la compañía Ilumax la cual ofrece estas características en bombillas LED con Roseta E27 para conexión a 120 V (AC).

### c) Selección de Portalámparas:

La NTC 2050 (Código Eléctrico Colombiano) sección 410 ‘Aparatos de alumbrado, porta bombillas, bombillos y tomacorrientes’ establece en el apartado 410-15 el uso de portalámparas para luminarias con dimensiones mayores a 40 cm o peso superior a 2,72 kg. En este apartado se proponen los mismos modelos de portalámparas de la compañía Ilumax:

**Tabla 48: Portalámparas marca: ILUMAX.**

Portalámparas	Elemento	Características
<p style="text-align: center;"><b>1</b> [19]</p>		<p><b>Anclaje:</b> Diámetro: 10 cm  <b>Longitud cable:</b> 1,0 m regulables  <b>Roseta:</b> E 27  <b>Cable flexible:</b> Monofásico bipolar AWG 18 (Línea, Neutro y Tierra)</p> <p style="text-align: center;">COLOR DORADO</p>
<p style="text-align: center;"><b>2</b> [19]</p>		<p><b>Anclaje:</b> Diámetro: 10 cm  <b>Longitud cable:</b> 1,0 m regulables  <b>Roseta:</b> E 27  <b>Cable flexible:</b> Monofásico bipolar AWG 18 (Línea, Neutro y Tierra)</p> <p style="text-align: center;">COLOR ROSA</p>

<p style="text-align: center;"><b>3</b> <b>[19]</b></p>		<p><b>Anclaje:</b> Diámetro: 10 cm  <b>Longitud cable:</b> 1,0 m regulables  <b>Roseta:</b> E 27  <b>Cable flexible:</b> Monofásico bipolar AWG 18 (Línea, Neutro y Tierra)</p> <p style="text-align: center;">COLOR NEGRO</p>
---	---	--

Fuente: Autores

Cada portalámparas descrito anteriormente tiene las mismas características, se escogen debido a su modo de anclaje a las carcasas que es mediante una rosca externa de diámetro de 42 mm y longitud de rosca de 11 mm y una tuerca (espesor 5mm) que a esta se asegura, así como se ilustra a continuación:

**Figura 60: Roseta E 27 con rosca externa.**



Fuente: Autores

Es conveniente este mecanismo pues cumple mediante su ajuste a los criterios modulares para el ensamble a la carcasa de modo fácil, rápido y eficaz; además el modelo de portalámparas escogido hace referencia al COLOR NEGRO, con esta selección *se cumple con el objetivo específico 2 y 3 de materiales complementarios y aptos por la normatividad vigente para el prototipo de luminaria 2.*

**Figura 61: Portalámparas colgante de cable flexible NEGRO.**



Fuente: <https://www.homecenter.com.co/> «lámpara colgante vintage luz e27 bronce» 2022 [En Línea].

#### **d) Diámetro de pasadores**

En este caso el único elemento sometido a perforaciones es el disco inferior el cual no ejerce fuerzas considerables a los listones, por consiguiente, se escoge un diámetro de pasadores (palillos convencionales) igual a 2,0 mm para sujeción del disco a los listones.

#### **6.4.4 Acabados y Recubrimientos**

Así como el primer prototipo de luminaria se usará sellante nitro celulósico transparente marca Philaac tipo Mate y laca catalizada de color **Blanco** de la misma marca denotada.

#### **6.4.5 Lista de componentes**

Para claridad de los componentes finales y facilidad de fabricación y ensamble se da una nomenclatura a cada componente junto a su descripción en la siguiente tabla

**Tabla 49: Componentes de Luminaria 2.**

<b>COMPONENTE</b>	<b>NOMENCLATURA</b>
<b>Disco superior</b>	D1
<b>Disco inferior</b>	D2
<b>Listón A</b>	L1
<b>Listón B</b>	L2
<b>Hojas</b>	H1
<b>Portalámparas</b>	B1
<b>Pasadores</b>	P1
<b>Bombilla</b>	B1

Fuente: Autores

#### ***6.4.6 Revisión del proyecto***

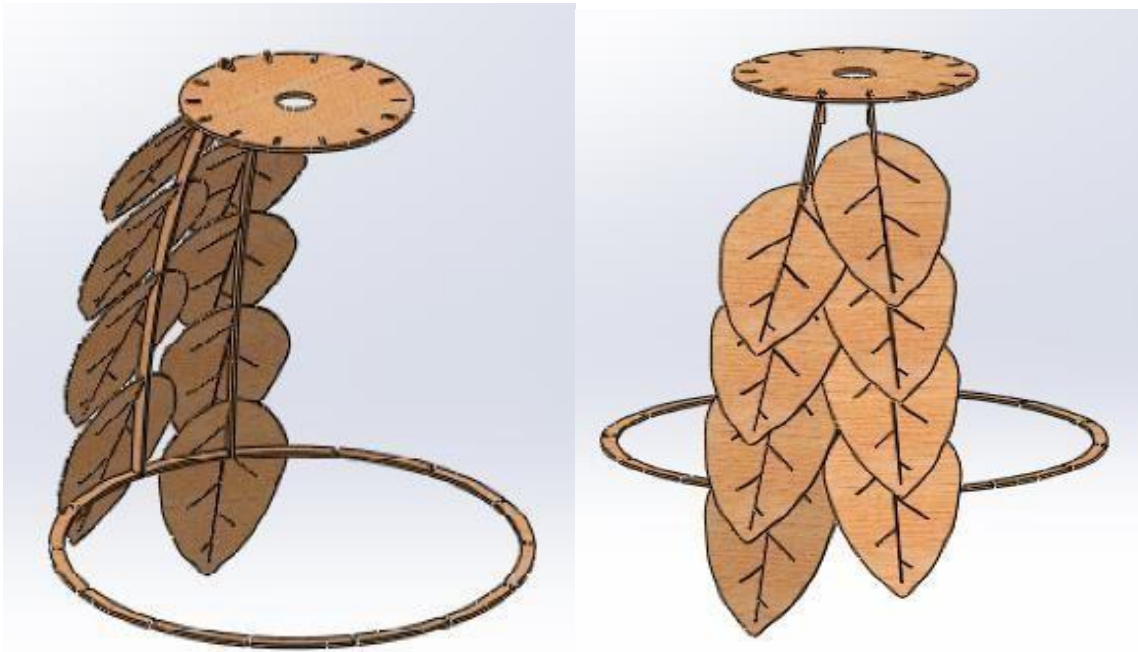
Este prototipo CUMPLE con los requerimientos planteados inicialmente; conforme al diseño se obtiene una luminaria colgante en madera minimalista e innovadora para decoración de interiores con características modulares para su ensamble.

El segundo aspecto connota la fabricabilidad de los componentes y en sí de la luminaria; es evidente la complejidad de fabricación de los componentes (discos y listones) de forma manual a lo cual se escoge el proceso de corte a LASER para la obtención de los componentes críticos. En conclusión, la fabricación de esta luminaria **SI ES VIABLE**.

### **6.5 QUINTO PASO: Arquitectura y modularidad**

#### ***6.5.1 Arquitectura de producto***

**Figura 62: Estructura y arquitectura de luminaria 2**



Fuente: Autores

El diseño ilustrado en la imagen anterior destaca la modularidad y arquitectura del prototipo de luminaria 2 a fabricar.

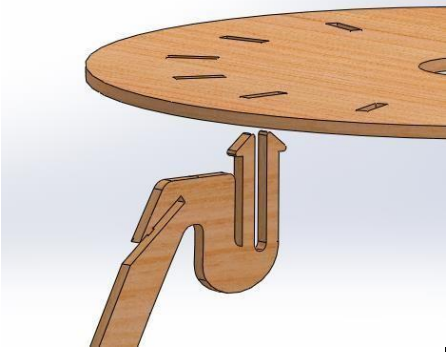
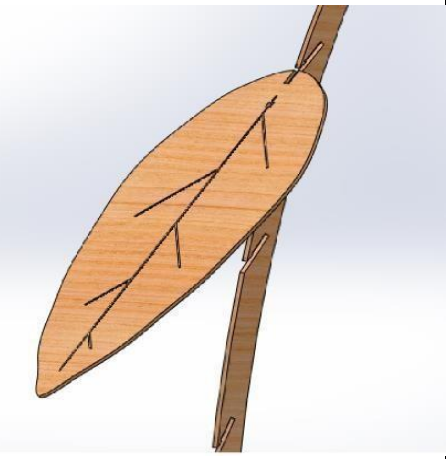
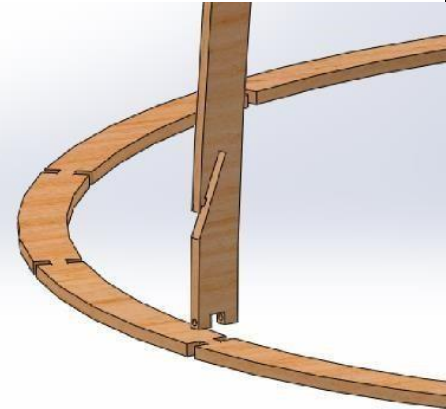
### ***6.5.2 Modularidad***

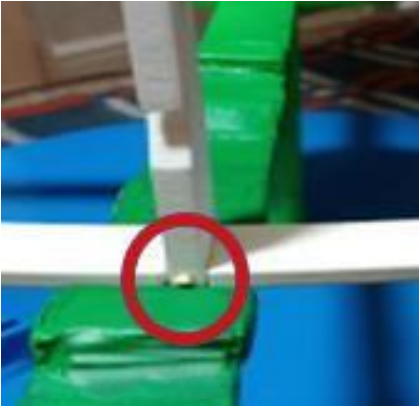
#### **□ Módulos constructivos**

A Continuación, se ilustran los acoples con los que se ensamblan los distintos componentes de la luminaria, destacando la característica modular en su diseño junto a sus tolerancias y ajustes:



Tabla 50: Tolerancias y ajustes de acoples luminaria 2

Acople	Ajuste	Características
<p><b>Disco superior vs Listones</b></p>		<p><b>Dimensiones:</b>  <b>Orificio rectangular disco superior:</b> 15 x 4 mm  <b>Garganta de listón:</b> 15 x 4 mm  Ajuste de deslizamiento estrecho RC1 (No debe existir movimiento)</p>
<p><b>Listones vs hojas</b></p>		<p><b>Espesor de hoja:</b> 2,7 mm  <b>Hueco en listón:</b> 2,7 +0,058 mm (Tolerancia grado 10)  Ajuste de deslizamiento medio RC 5</p>
<p><b>Listones vs Disco inferior</b></p>		<p><b>Muesca de listón:</b> 5,0 + 0,02 mm (Tolerancia grado 10) x 4,0 mm  <b>Orificios disco inferior:</b> 5,0 mm x 4,0 mm  Ajuste de deslizamiento medio RC 5</p>

<p align="center"><b>Ensamble de pasador (Listón vs Disco inferior)</b></p>		<p><b>Orificio:</b> 2,00 mm</p> <p><b>Diámetro de pasador:</b> 2,00 mm</p> <p>Ajuste forzado RC1</p>
---	---	--

Fuente: Autores

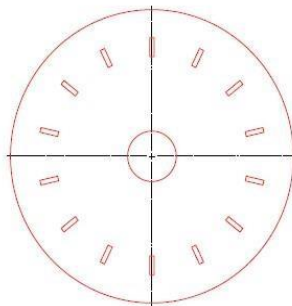
Para determinar los tipos de ajustes y tolerancias el concepto se basa de lo descrito en el Libro: ‘Diseño de elementos de máquinas 4ta Edición’, por Robert L Mott, capítulo 13, página 575. El diseño de la luminaria hace que los pasadores no soporten cargas máximas o estén sometidos a un significativo esfuerzo cortante en este diseño se proponen unos pasadores con diámetro de 2,00 mm para los ajustes requeridos en disco inferior. Hasta este punto se obtiene el diseño completo, los materiales propuestos y el proceso que es tendencia para la fabricación de la carcasa y luminaria

## 6.6 SEXTO PASO: Fabricación

### 6.6.1 Vías de obtención de piezas y componentes

Con esta luminaria se realiza el mismo proceso de fabricación mediante corte a LASER; de igual forma se es entregado los planos en formato DXF a la empresa prestadora del servicio.

**Figura 62: Visualización de disco superior en formato DXF.**



Fuente: Autores

Para este proyecto este es el método de obtención de piezas ‘el corte a laser’, ahora se describe el paso operativo de la obtención final de los componentes en cuanto a la fabricación respecta de la luminaria 2:

**Tabla 51: Proceso operativo para fabricación de piezas.**

OPERACION	ASPECTO	DESCRIPCIÓN	
Operación 1	Obtención de materia prima (madera)	Listones <i>MDF con espesor de 4 mm</i>	14 láminas MDF de 16x50 cm o 1 lámina de 1 x 0,80 m
		Disco superior <i>MDF con espesor de 4 o 5 mm</i>	1 lámina de 27x27 cm
		Disco inferior <i>MDF con espesor de 4 mm</i>	1 lámina de 50x50 cm
		Hojas <i>MDF con espesor de 2,7 mm</i>	2 láminas de 1x0,80 m o 56 retales de 25x15 cm

Operación 2	Corte a laser	Con el material de madera completo es necesario dirigirse a algún negocio de corte a laser junto a los planos en DFX de las piezas para la obtención de estas.
Operación 3	Carpintería (Perforación de orificios)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicar el disco inferior y prensar en mesa de trabajo, allí posicionar los 5 dados guías cada 3 muescas y proceder a perforar con broca de 2,0 mm los listones de forma transversal.</li> <li>• Ubicar 5 listones (uno por uno en prensa) junto a los correspondientes dados y de tal manera perforar en la muesca inferior los orificios que ajustaran con los orificios del disco inferior.</li> </ul>
Operación 4	Carpintería (Lijado superficial y sellado de piezas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la mesa de trabajo prensar cada pieza en MDF (con prensa TIPO F) y pulir suavemente con lija '250' los elementos hasta obtener una superficie lisa y homogénea.</li> <li>• Aplicar un pase de sellante para madera con la finalidad de mejorar el aspecto de esta y tapar micro poros que se puedan presentar.</li> </ul>
Operación 5	Carpintería (Aplicar recubrimiento)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Después de estar seco el sellante lijar suavemente con lija 200' limpiar con un trapo seco.</li> <li>• Contar con un galón de laca color 'Blanco mate' para madera, junto a medio galón de Thinner; mezclar ambos productos en un recipiente limpio (Relación de mezcla 2 – Pintura 1- Thinner) y después aplicar hasta obtener la superficie requerida por medio de pistola aspersora a 10 PSI de presión.</li> </ul>

Operación 6	Obtención de piezas	Verificar visualmente el estado de las piezas dando aval al aspecto de estas.
-------------	---------------------	---

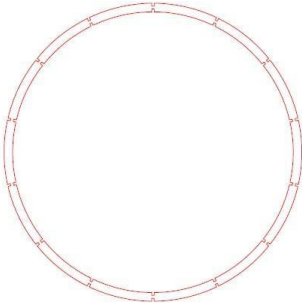
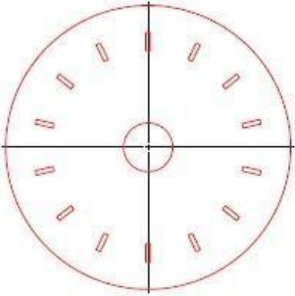
Fuente: Autores



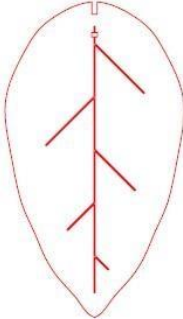
Basado en lo anteriormente descrito se concluye la adecuada fabricación de los componentes críticos conforme a lo estipulado para el proyecto; los utillajes o plantillas de fabricación se establecen en 2 conjuntos dando respuesta y cumplimiento al objetivo planteado:

□ **Plantillas digitales:**

Las plantillas digitales se refieren a los planos de las piezas en formato DXF, puesto que normalmente es un archivo genérico para uso en las máquinas de corte por láser por la cual obtendremos los cortes requeridos para los componentes en madera.

**Tabla 52: Plantillas digitales luminaria 2.**

PLANTILLA	DISEÑO
<p style="text-align: center;"><b>ARO INFERIOR HOJAS</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>ARO SUPERIOR HOJAS</b></p>	

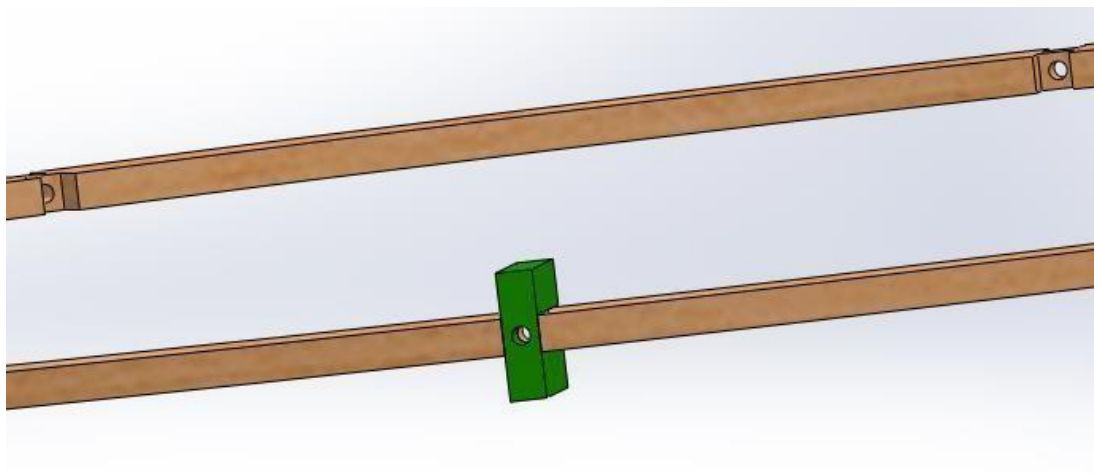
<p><b>LISTON A HOJAS</b></p>	
<p><b>LISTON B HOJAS</b></p>	
<p><b>HOJA</b></p>	

Fuente: Autores

**Plantillas para perforaciones:**

Se diseña una pieza la cual puede ser fabricada y utilizada para realizar todos los orificios que requieren los ajustes de la luminaria, en la imagen a continuación se ilustra el modelo establecido.

**Figura 63: Plantilla de perforación en disco inferior.**



Fuente: Autores

Para la fabricación de las plantillas de perforación se fabrican 5 unidades en resina rápida impresa en maquina 3D, En la sección de anexos se archiva los planos y dimensiones de la pieza.

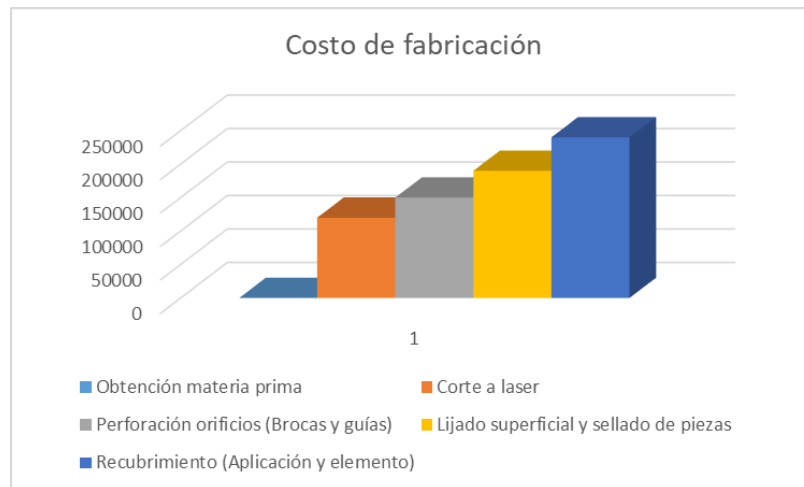
### 6.6.2 Costo de fabricación

**Tabla 53: Costos fabricación de piezas.**

OPERACIÓN	COSTO (Pesos)	ACUMULADO (Pesos)
Obtención materia prima	0	0
Corte a laser	120000	120000
Perforación orificios (Brocas y guías)	30000	150000
Lijado superficial y sellado de piezas	40000	1900000
Recubrimiento (Aplicación y elemento)	50000	240000
<b>TOTAL</b>		240000

Fuente: Autores

**Figura 64: costos de fabricación.**



Fuente: Autores

Inicialmente para la fabricación de las piezas y componentes se cuenta con un costo de \$240.000 pesos colombianos, incluyendo la fabricación de guías para la perforación.

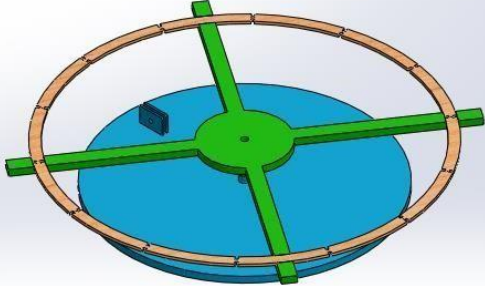
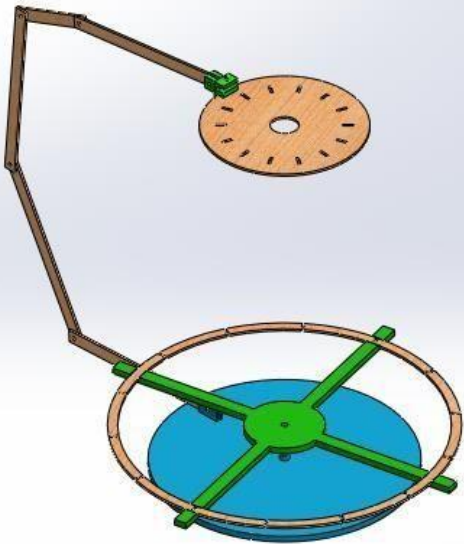
## 6.7 SEPTIMO PASO: Ensamble

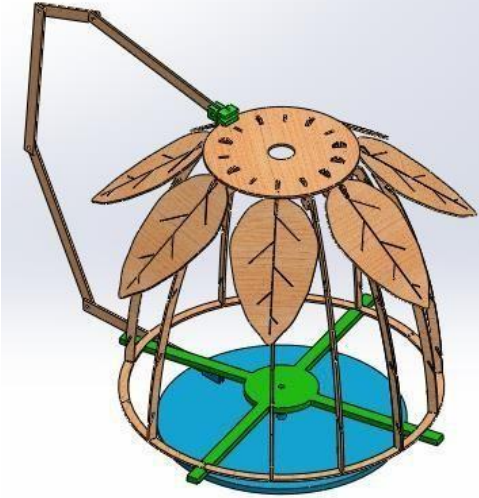
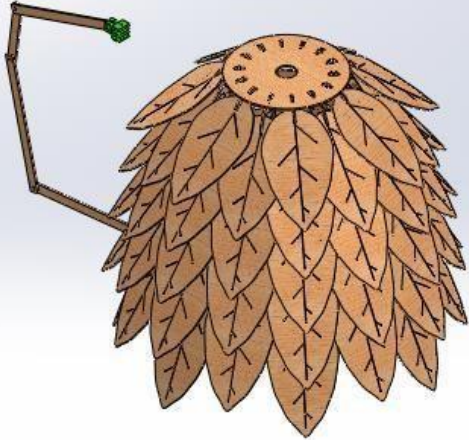
### 6.7.1 Montaje y automatización

La automatización de procesos es un aspecto importante para agilizar el armado de la luminaria y es así que la guía metodológica establece en el capítulo 6 distintos sectores a aplicar algún tipo de tecnología, para este caso se refiere *la asistencia al montaje manual* que involucra el uso de utillajes para facilitar al usuario el acople manual entre piezas, para este segundo prototipo solo se contara con el ‘soporte para ensamble



Tabla 54: Soporte para ensamble.

NOMBRE	DISEÑO	CARACTERÍSTICAS
<p><b>SOPORTE PARA ENSAMBLE</b></p>		<p>Dispositivo en acero al carbono compuesto de:</p> <p><b>Soporte en cruz móvil:</b> Soporta los discos de sujeción y giran sobre la varilla central</p> <p><b>Base circular de soporte:</b> Soporte de dispositivo</p>
<p><b>SUJECION DISCO SUPERIOR CON BRAZO DE EMSAMBLE</b></p>		<p>El brazo permite sujetar el Disco guía (D1), este debe elevarse en cualquier posición para que los 14 listones (L1) se empiecen a unir uno por uno con el Disco inferior (D2), de esta manera se dará forma a la luminaria.</p>

<p><b>UBICACIÓN DE LISTONES EN LOS DISCOS SUPERIOR E INFERIOR</b></p>		<p>Luego de La unión de los listones(L1) se procede a quitar el brazo de sujeción del Disco guía (D1), para permitir ensamblar los listones (L1) restantes y a la vez colocar los pasadores (P1) en el Disco inferior (D2) y el resto de componentes de la luminaria.</p>
<p><b>EMSAMBLAJE TOTAL LAMPARA COLGANTE</b></p>		<p>La luminaria tipo hojas, finaliza colocando el portalámparas (B1) donde se ubicará el bombillo led.</p>

Fuente: Autores

De acuerdo a la metodología del DFMA se obtiene el producto requerido, que cumple y satisface todos los requerimientos propuestos a continuación se ilustra la luminaria finalizada:

**Figura 65: Luminaria colgante en madera tipo hojas**



Fuente: Autores

Con este dispositivo de ensamble se da cumplimiento al objetivo que establece la o las guías de ensamble para el montaje de la luminaria, el plano del dispositivo se relaciona en los **anexos** del presente documento. Antes de describir el proceso de ensamble es importante relacionar los componentes y la nomenclatura denotada en la tabla 45:

**Tabla 55: Componentes a ensamblar.**

Componente	Nomenclatura	Cantidad
Disco superior	D1	1
Disco inferior	D2	1
Listón A	L1	7
Listón B	L2	7
Hojas	H1	63
Portalámparas	B1	1
Pasadores	P1	5

Fuente: Autores

### 6.7.2 *Ensamble Luminaria 2*

**Tabla 56: ensamble luminaria.**

A continuación, se relacionan las operaciones pertinentes para el ensamble de la luminaria 2:

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN
Operación 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicar el dispositivo para ensamble en una mesa de trabajo.</li> <li>• Sobre el ‘soporte en cruz móvil’ colocar el disco superior de la luminaria y ajustar a la altura pertinente</li> </ul>
Operación 2	Unir todos los listones al disco superior [D2] (Ubicar los 5 listones perforados cada 3 muescas de diferencia). La ubicación de un listón A [L1] ira seguido por un listón B [L2] y así sucesivamente intercalados los 14 listones.
Operación 3	Posteriormente es posible colocar el disco inferior de sujeción [D2] para ajustar los listones y colocar pasadores [P1] (cantidad 5) a su correspondiente unión.
Operación 4	Garantizando el ajuste de los dos discos y listones se procede a instalar las hojas [H1] a presión en las ranuras correspondientes y girando el soporte en cruz se aprovecha de gran manera el método de ensamble.
Operación 5	Retirar la carcasa armada del ‘soporte para ensamble’
Operación 6	Instalar el portalámparas [B1] a carcasa

Fuente: Autores

## 7 CONCLUSIONES

Este proyecto se desarrolla desde diferentes frentes de conocimientos como eléctricos y mecánicos basándose en la ejecución sistemática de la metodología DFMA, destacando herramientas para la obtención de los adecuados diseños a ser desarrollados; esta metodología muestra un modelo de enseñanza y capacitación para diseñadores, clientes, empresarios o fabricantes quienes deseen implementar mejoras a sus procesos.

Intrínsecamente se amplifica el conocimiento normativo pues es desde estos que se generan productos con altos índices de calidad, el RETILAP especifica las variables mínimas a tener en cumplimiento por un sistema de alumbrado y la NTC 2050 establece los criterios mínimos de conductores eléctricos o redes de alimentación. Es evidente el cumplimiento de la guía metodológica en la fabricación y ensamble de los dos prototipos de luminarias acertando en el cumplimiento de los objetivos planteados y de los cuales se concluye que:

- Mediante la guía metodológica y el proceso de ingeniería inversa realizado fue posible definir las geometrías de ambas luminarias y establecer inicialmente unos bosquejos que comprendían esquemas generales de cada una, todo esto a través del desarrollo del DISEÑO CONCEPTUAL propuesto en la guía.
- Se establecen materiales complementarios diferentes a los tipos de maderas evaluados y descritos en este documento; la guía metodológica permitió evaluar estos parámetros en la ejecución y desarrollo del DISEÑO DE DETALLE donde se involucraron materiales como el bambú en el caso de los pasadores y materiales para cables flexibles y anclaje de portalámparas.
- En el DISEÑO AL DETALLE se especifican y describen los componentes eléctricos que cumplen a cabalidad los requerimientos eléctricos, Los portalámparas instalados distribuidos por la compañía Ilumax cumplen a los aspectos estipulados en la NTC 2050 para portalámparas, cables flexibles y conductores eléctricos por tal motivo se usaron en la fabricación de las luminarias. Una lámpara LED de 2500 Lm, cumple con los criterios de factor de deslumbramiento e iluminancia (esto en función de la altura de la lámpara) para cada una se establece su altura mínima gracias a la guía establecida en el RETILAP, se escoge la lámpara adecuada para flujo luminoso, voltaje de alimentación de 120 V y potencia máxima de 30 W.
- La iluminancia sobre un área cuando a deslumbramiento directo se refiere, disminuye a medida que el foco o fuente emisora de luz se aleja o este tiene un flujo luminoso bajo. Para ambas luminarias el flujo de la lámpara cumple a 2500 Lumen el criterio entre 100 a 200 Luxes y un UGR no mayor a 25.
- Toda la guía metodológica ofreció los lineamientos para la fabricación de las luminarias conforme a lo requerido, en el capítulo 4 de la guía: 'ARQUITECTURA Y MODULARIDAD' se hace énfasis en el aspecto MODULAR y es desde allí que se estableció las uniones, ajustes y tolerancias que también permitieron fabricar con facilidad los prototipos de luminarias.
- Los utillajes (Guías) permitieron desarrollar el ensamble de las luminarias en un tiempo no mayor a 45 minutos y las plantillas digitales permiten optar por un proceso automático de corte a laser que por corte de piezas no superara los 120 minutos; además ofrece precisión y calidad en los elementos allí obtenidos.
- Aquellas mejoras implementadas en las nuevas luminarias crean un precedente productivo, se puede concluir la reducción en tiempos de ensamble y fabricación además de fabricar elementos llamativos e innovadores que si se llegasen a comercializar con la metodología establecida por el DFMA seria competentes comercialmente.
- El software SolidWorks permitió la ejecución de todos aquellos planos y simulaciones que hacen parte del paquete documental propuesto para el documento destacando las

cotas y dimensiones de cada pieza constatando también aquellas tolerancias entre cada ajuste que se encuentra diseñado.

- La metodología DFMA ofrece toda la herramienta ingenieril para fabricar todo aspecto que se desee, en este caso permitió el diseño, la fabricación y el ensamble de los 2 prototipos de luminarias colgantes en madera conforme a los requerimientos establecidos para estas.
- No es cierto que los 2 prototipos de luminarias se limiten únicamente al uso de lámparas de tipo LED, actualmente en el ámbito decorativo se están usando bombillas de filamento, una tecnología Vintage similar a la bombilla incandescente que ofrece un aspecto llamativo a las luminarias en las que se instalen; otro aspecto que no es limitante es su uso en interiores de hogares, es posible usarse en decoración de pasillos de cines, tiendas, bares, zonas comunes de hoteles y aquellos lugares donde se opte su adecuado uso teniendo en cuenta la altura de instalación y método de anclaje.
- La experiencia adquirida en este proceso de diseño, fabricación y montaje resulta grata para las profesiones correspondientes, puesto que al obtener los prototipos de luminarias requeridas mediante la ejecución del DFMA da aval y confianza en continuar trabajando y practicando dicha metodología para la resolución de problemas que ciertamente ocurrirán en el trascurso de la vida laboral como ingenieros y es ese aprendizaje la vivencia obtenida en este proyecto.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- [1] Fuente: vintage, f. s. (2022). *francisco segarra forniture vintage*. Obtenido de Lámparas colgantes metálicas Royal: <https://www.francisosegarra.com/mobiliario/luminarias-colgantesen->
- [2] Fuente: crecimiento, l. s. (s.f.). *lumicorp socios del crecimiento*. Obtenido de LÁMPARA BAJO CONSUMO 12W LUZCÁLIDA:  
<http://www.lumicorp.com.py/producto/345/Lampara%20Bajo%20Consumo%2012W%20Luz%20Calida>
- [3] Fuente: [repositori.uji.es](http://repositori.uji.es) Energy efficiency fundación «módulo-1.5luminarias: clasificaciones, tipos y aplicaciones» 12 noviembre 2014[En línea]. Available: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1\\_5Luminarias\\_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1_5Luminarias_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=) [último acceso: 18 marzo 2022]

- [4] Fuente: [repositori.uji.es](http://repositori.uji.es) Energy efficiency foundation «módulo-1.5luminarias: clasificaciones, tipos y aplicaciones» 12 noviembre 2014[En línea]. Available: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1\\_5Luminarias\\_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1_5Luminarias_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=) [último acceso: 18 marzo 2022]
- [5] Fuente: [repositori.uji.es](http://repositori.uji.es) Energy efficiency foundation «módulo-1.5luminarias: clasificaciones, tipos y aplicaciones» 12 noviembre 2014[En línea]. Available: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1\\_5Luminarias\\_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1_5Luminarias_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=) [último acceso: 18 marzo 2022]
- [6] Fuente: [repositori.uji.es](http://repositori.uji.es) Energy efficiency foundation «módulo-1.5luminarias: clasificaciones, tipos y aplicaciones» 12 noviembre 2014[En línea]. Available: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1\\_5Luminarias\\_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/170990/M1_5Luminarias_clasificacion.es.pdf?sequence=1&id Allowed=) [último acceso: 18 marzo 2022]
- [7] Fuente: <https://luminotecnico.blogspot.com> Clasificación-nema-del-haz-luminoso «clasificación-nema-del-haz-luminoso» 14 octubre 2017 [En Línea]. Available: <https://luminotecnico.blogspot.com/2017/10/clasificacion-nema-del-haz-luminosode.html> [último acceso: 18 marzo 2022]
- [8] Fuente: <https://www.chec.com.co/> chec grupo epm «alumbrado público» 2017 [En Línea]. Available: <https://www.chec.com.co/clientes-y-usuarios/hogares/energia/alumbrado-publico> [último acceso: 18 marzo 2022]
- [9] Fuente: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/> Clasificación de distribución luminosa según la CIE 1986 «luminarias para iluminación de interiores» 17 junio 2002 [En Línea]. Available: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap05.pdf> [último acceso: 18 marzo 2022] [10] Fuente: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/> Clasificación de distribución luminosa según la CIE 1986 «luminarias para iluminación de interiores» 17 junio 2002 [En Línea]. Available: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap05.pdf> [último acceso: 18 marzo 2022]
- [11] Fuente: [https://monsoybenet.com//](https://monsoybenet.com/) monso y Benet «Lámpara Techo Madera cossano» 2019 [En Línea]. Available: <https://monsoybenet.com/colgante-lamparas/4470lamparatecho-madera-cossano-30-94764-%209002759947644.html> [último acceso: 18 marzo 2022]
- [12] Fuente: <https://www.fabricatulampara.com> «Que accesorios necesito para montar una lámpara colgante de techo» 22 febrero 2019 [En Línea]. Available: <https://www.fabricatulampara.com/que-accesorios-necesito-para-montar-una-lampara-colgante-de-techo> [último acceso: 18 marzo 2022]

- [13] Fuente: <https://www.retilap.com.co> «dimensiones casquillos bombillas» 5 noviembre 2013 [En Línea]. Available: <https://www.retilap.com.co/download/RETIE-EN-PDF-ACTUALIZADO.pdf> [último acceso: 23 marzo 2022]
- [14] Fuente: <https://www.retilap.com.co> Clasificación de lámparas «índice de reproducción de color» 06 abril 2010 [En Línea]. Available: <https://www.retilap.com.co/download/Retilappdf-actualizado.pdf> [último acceso: 18 marzo 2022]
- [15] Fuente: <https://www.freepik.es> «set de lámparas led realistas» 2022 [En Línea]. Available: [https://www.freepik.es/vector-gratis/set-lamparas-led-realistas\\_3998601.html](https://www.freepik.es/vector-gratis/set-lamparas-led-realistas_3998601.html) [último acceso: 18 marzo 2022]
- [16] Fuente: document, w. (2018). *Word document*. Obtenido de AUTOMOTIVE INDUSTRIES - DFMA DFMA.AND IT'S BECOMING A WAY OF LIFE IN MANY AMERICAN INDUSTRIES: <https://fdocuments.net/document/automotive-industriesdfmadfmaand-its-becoming-a-way-of-life-in-many-american.html?page=3>
- [17] Fuente: document, w. (2018). *Word document*. Obtenido de AUTOMOTIVE INDUSTRIES - DFMA DFMA.AND IT'S BECOMING A WAY OF LIFE IN MANY AMERICAN INDUSTRIES: <https://fdocuments.net/document/automotive-industriesdfmadfmaand-its-becoming-a-way-of-life-in-many-american.html?page=3>
- [18] Fuente: <https://www.retilap.com.co> «capacidad de corriente para conductores» 5 noviembre 2013 [En Línea]. Available: <https://www.retilap.com.co/download/RETIEENPDF-ACTUALIZADO.pdf> [último acceso: 23 marzo 2022]
- [19] Fuente: <https://www.homecenter.com.co/> «lámpara colgante vintage luz e27 bronce» 2022 [En Línea]. Available: [://www.homecenter.com.co/homecenter-co/producto/327706/lampara-colgante-vintage-1-luz-e27-bronce/327706/?kid=bnext1031769&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQiA09eQBhCxARIsAAYRiymRc7gpCe7I2yrbtxWuracnc1aQ0SDMvFxTdGI7UC8Qe94wjEikUgaAiyEALw\\_wcB](https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/producto/327706/lampara-colgante-vintage-1-luz-e27-bronce/327706/?kid=bnext1031769&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQiA09eQBhCxARIsAAYRiymRc7gpCe7I2yrbtxWuracnc1aQ0SDMvFxTdGI7UC8Qe94wjEikUgaAiyEALw_wcB) [último acceso:23 marzo 2022]



- [20] Fuente: <https://issuu.com/> «lacas y barnices» 2021 [En Línea]. Available: [https://issuu.com/tiffany-nunez/docs/manual\\_de\\_\\_materiales/s/10886672](https://issuu.com/tiffany-nunez/docs/manual_de__materiales/s/10886672) [último acceso: 23 marzo 2022]
- [21] Fuente: mott, r. l. (s.f.). *academia.edu diseño de elementos de máquinas*. Obtenido de diseño de elemento de máquinas capítulo 13, pagina 575:  
[https://www.academia.edu/34159733/Dise%C3%B1o\\_de\\_Elementos\\_de\\_M%C3%A1quinas\\_4ta\\_Edici%C3%B3n\\_Robert\\_L\\_Mott](https://www.academia.edu/34159733/Dise%C3%B1o_de_Elementos_de_M%C3%A1quinas_4ta_Edici%C3%B3n_Robert_L_Mott)
- [22] Fuente: mdec. (09 de abril de 2018). *mdec maderas de profesionales*. Obtenido de MDF y Aglomerado, ¿en qué se diferencian?: <https://www.emedec.com/mdf-aglomeradoenque-se-diferencian/>
- [23] Fuente: <https://www.homecenter.com.co/> «lámpara colgante vintage luz e27 bronce» 2022 [En Línea]. Available :[://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/327706/lampara-colgante-vintage-1-luz-e27-bronce/327706/?kid=bnnext1031769&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQiA09eQBhCxARIsAAYRiyMRC7gpCe7I2yrbtxWuracnc1aQ0SDMvFXTdGI7UC8Qe94wjEikUgaAiyEALw\\_wcB](https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/327706/lampara-colgante-vintage-1-luz-e27-bronce/327706/?kid=bnnext1031769&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQiA09eQBhCxARIsAAYRiyMRC7gpCe7I2yrbtxWuracnc1aQ0SDMvFXTdGI7UC8Qe94wjEikUgaAiyEALw_wcB) [último acceso:23 marzo 2022]
- [24] Fuente: Colombia, E. e. (06 de 08 de 2019). *¿Qué considerar para elegir un bombillo?* Obtenido de La eficiencia lumínica:  
<https://www.homecenter.com.co/homecenterco/guias-de-compra/como-elegirbombillos>
- [25] Fuente: <https://www.todoluz.es/> toda luz «lámpara de pie metal tuxon» 2017 [En Línea]. Available: <https://www.todoluz.es/lamparas-de-pie/lampara-de-pie-metal-negotuxon9007371373468-23415.html> [último acceso: 18 marzo 2022]
- [26] Fuente: <https://www.todoluz.es/> toda luz «lámpara de pie metal tuxon» 2017 [En Línea]. Available: <https://www.todoluz.es/lamparas-de-pie/lampara-de-pie-metal-negotuxon9007371373468-23415.html> [último acceso: 18 marzo 2022]
- [27] Fuente: <https://www.elmueble.com/> «lámpara de sobremesa» 21 mayo 2021 [En Línea]. Available: [https://www.elmueble.com/ideas/decoterapia/lamparas-sobremesatodos-losestilos\\_40812/2#slide-11](https://www.elmueble.com/ideas/decoterapia/lamparas-sobremesatodos-losestilos_40812/2#slide-11) [último acceso: 18 marzo 2022]

- [28] Fuente: [https://www.blog.lamparas.es/ lamparas.es blog --lámparas de techo modernas con diseños originales](https://www.blog.lamparas.es/lamparas.es%20blog%20--l%C3%A1mparas%20de%20techo%20modernas%20con%20dise%C3%B1os%20originales) 2013 [En Línea]. Available: <https://www.blog.lamparas.es/lamparas-techo-modernas-originales/> [último acceso: 18 marzo 2022]
- [29] Fuente: [https://www.easy.com.co/ «lámpara de techo triángulo chocolate»](https://www.easy.com.co/«l%C3%A1mpara%20de%20techo%20tri%C3%A1ngulo%20chocolate») 2021 [En Línea]. Available: <https://www.easy.com.co/p/lampara-de-techo-triangulo-chocolate3luces-e27/> [último acceso: 18 marzo 2022]
- [30] Fuente: [https://perlighting.com «jarras lámpara colgante mantra»](https://perlighting.com«jarras%20lámpara%20colgante%20mantra») 2022 [En Línea]. Available: [https://perlighting.com/jarras-lampara-colgante-mantra/?attribute\\_pa\\_color=bronce&attribute\\_pa\\_tamano=grande](https://perlighting.com/jarras-lampara-colgante-mantra/?attribute_pa_color=bronce&attribute_pa_tamano=grande) [último acceso: 18 marzo 2022]
- [31] Fuente: [https://www.lampara.es «lámpara colgante LED Francis, antracita»](https://www.lampara.es«l%C3%A1mpara%20colgante%20LED%20Francis,%20antracita») 2022 [En Línea]. Available: [https://www.lampara.es/lampara-colgante-led-francisdisenoalegre.html?sku=9011056&utm\\_medium=social&utm\\_source=pinterest&utm\\_campaign=catalog\\_es&utm\\_content=bild&utm\\_term=9011056](https://www.lampara.es/lampara-colgante-led-francisdisenoalegre.html?sku=9011056&utm_medium=social&utm_source=pinterest&utm_campaign=catalog_es&utm_content=bild&utm_term=9011056) [último acceso: 18 marzo 2022]
- [32] Fuente: [https://www.thecoolrepublic.com/ «lámpara colgante calada Aprilia en madera clara-sollux»](https://www.thecoolrepublic.com/«l%C3%A1mpara%20colgante%20calada%20Aprilia%20en%20madera%20clara-sollux») 2022 [En Línea]. Available: [https://www.thecoolrepublic.com/es/iluminacion/lamparas-colgantes/lamparacolgante-calada-aprilla-en-madera-clarasollux?utm\\_source=effinity&utm\\_campaign=315026468&utm\\_medium=1395104546&utm\\_content=43&id\\_compteur=22636533&effi\\_id=&effi\\_id2=&prod\\_id=&effcpt=22636533](https://www.thecoolrepublic.com/es/iluminacion/lamparas-colgantes/lamparacolgante-calada-aprilla-en-madera-clarasollux?utm_source=effinity&utm_campaign=315026468&utm_medium=1395104546&utm_content=43&id_compteur=22636533&effi_id=&effi_id2=&prod_id=&effcpt=22636533) [último acceso: 23 marzo 2022]
- [33] Fuente: [https://www.freepatternsarea.com/ «plywood MDF lamp share Co2 laser cut files free Down load»](https://www.freepatternsarea.com/«plywood%20MDF%20lamp%20share%20Co2%20laser%20cut%20files%20free%20Down%20load») 2021 [En Línea]. Available: <https://co.pinterest.com/pin/140806223767281/> [último acceso: 23 marzo 2022]
- [34] Fuente: [https://co.pinterest.com/krudoparaguay/\\_created// «decoración»](https://co.pinterest.com/krudoparaguay/_created//«decoraci%C3%B3n») 2021 [En Línea]. Available: <https://co.pinterest.com/pin/1055599902987027/> [último acceso: 23 marzo 2022]
- [36] Fuente: [https://www.etsy.com/ «lámpara colgante luz de techo»](https://www.etsy.com/«l%C3%A1mpara%20colgante%20luz%20de%20techo») 2021 [En Línea].

[37] Fuente: <https://co.pinterest.com/> «ceiling light» 2022 [En Línea]. Available [https://co.pinterest.com/pin/Absn0lGNmPGshnHcgyzYp1vOadhsSfTwzgTGGtN61nMq4Y5eT\\_SU4c/](https://co.pinterest.com/pin/Absn0lGNmPGshnHcgyzYp1vOadhsSfTwzgTGGtN61nMq4Y5eT_SU4c/) [último acceso: 23 marzo 2022]

[38] Fuente: Claudio Rodríguez\*, E. V. (15 de Diciembre de 2008). *Propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pinus canariensis crecido*. Obtenido de Propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pinus canariensis crecido: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v29n3/art02.pdf>

[39] Fuente: ELIZONDO, B. S. (17 de junio de 2019). *Instituto Tecnológico de Costa Rica*. Obtenido de PROPIEDADES DE LA MADERA DE CEDRELA ODORATA DE: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10853/propiedades-madera-cedreladorata.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[40] Fuente: eurofirst. (21 de mayo de 2014). *eurofirst*. Obtenido de Descripción técnica de las trampillas TVS - MDF y sus materiales: <https://www.calixtofernandez.com/files/ficheros/Trampillas/Ficha-tecnica-MDF.pdf>

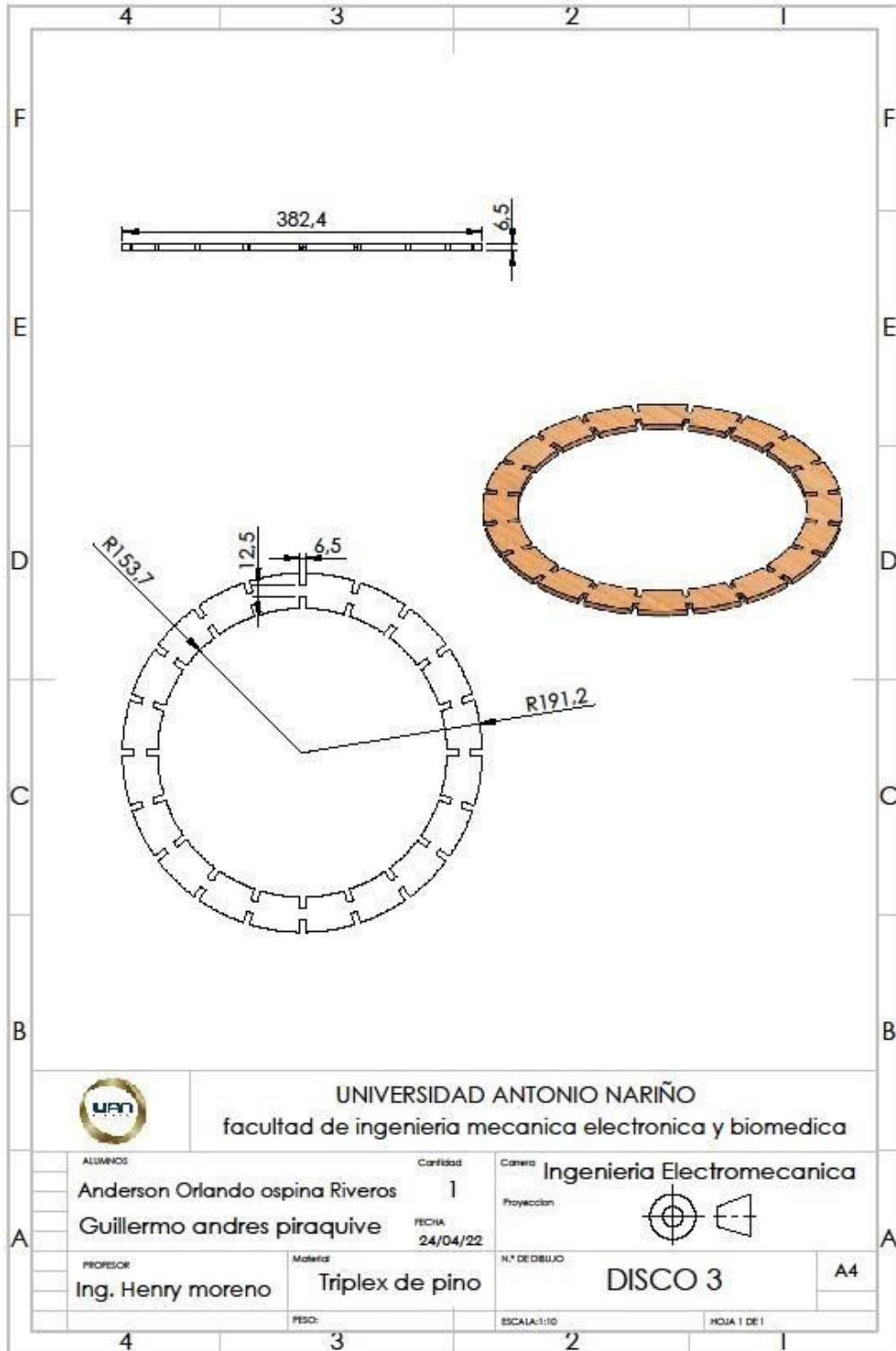
[41] Fuente: Artículo: ‘Fichas de propiedades tecnológicas de maderas’, por Hans G. Richter, José Antonio Silva Guzmán, Francisco Javier Fuentes Talavera, Raúl Rodríguez Anda, Paola Andrea Torres Andrade. Enero 2009 - marzo 2012

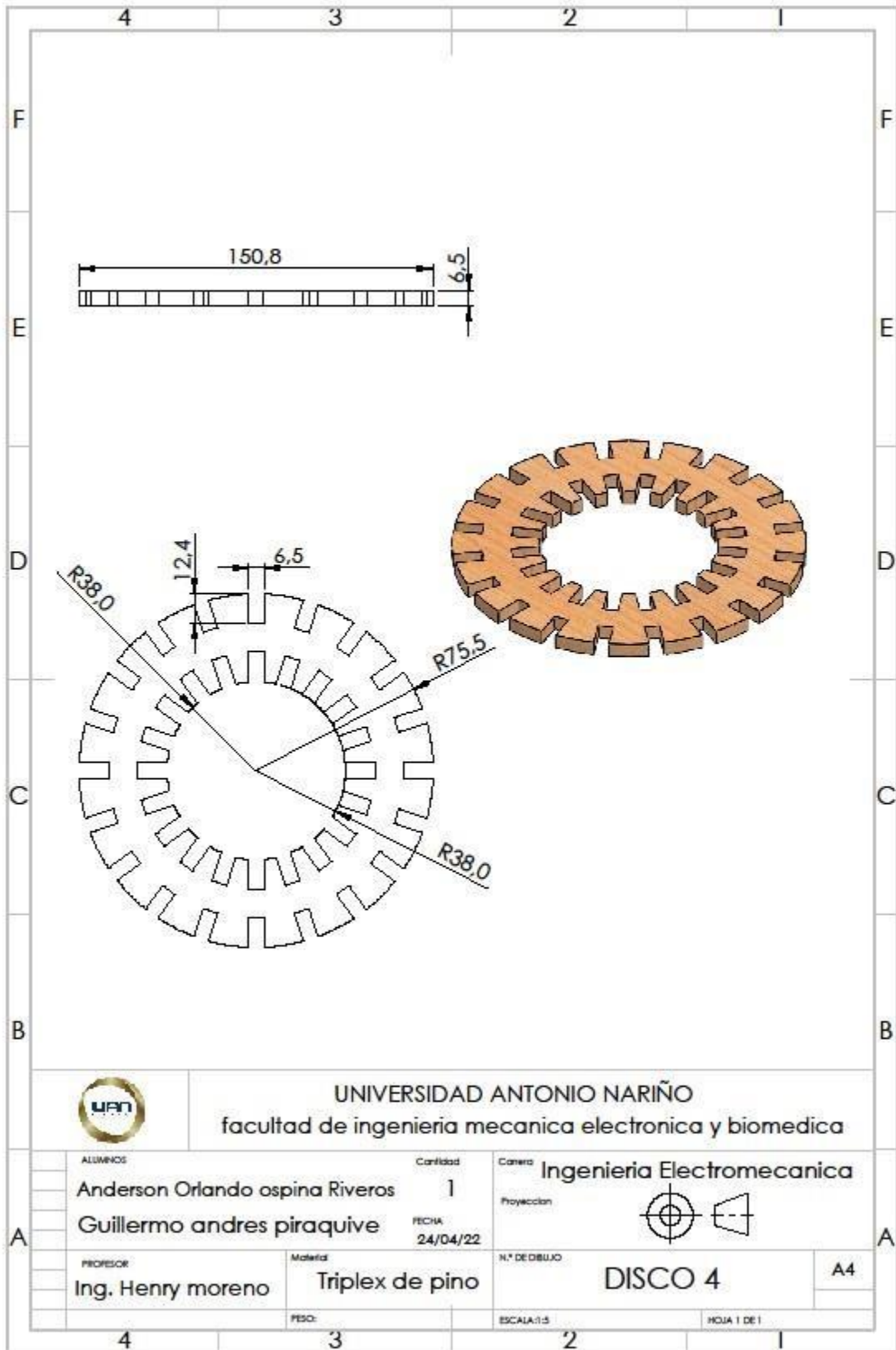
[42] Fuente: Amazon. (s.f.). *Arte Moderno Madera de roble Pinecone colgante luces para colgar Madera Ph Alcachofa Lámparas Comedor Restaurante Retro Fixtures Luminaria*. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Pinecone-colganteAlcachofaRestaurante-Luminaria/dp/B0775T9M28>

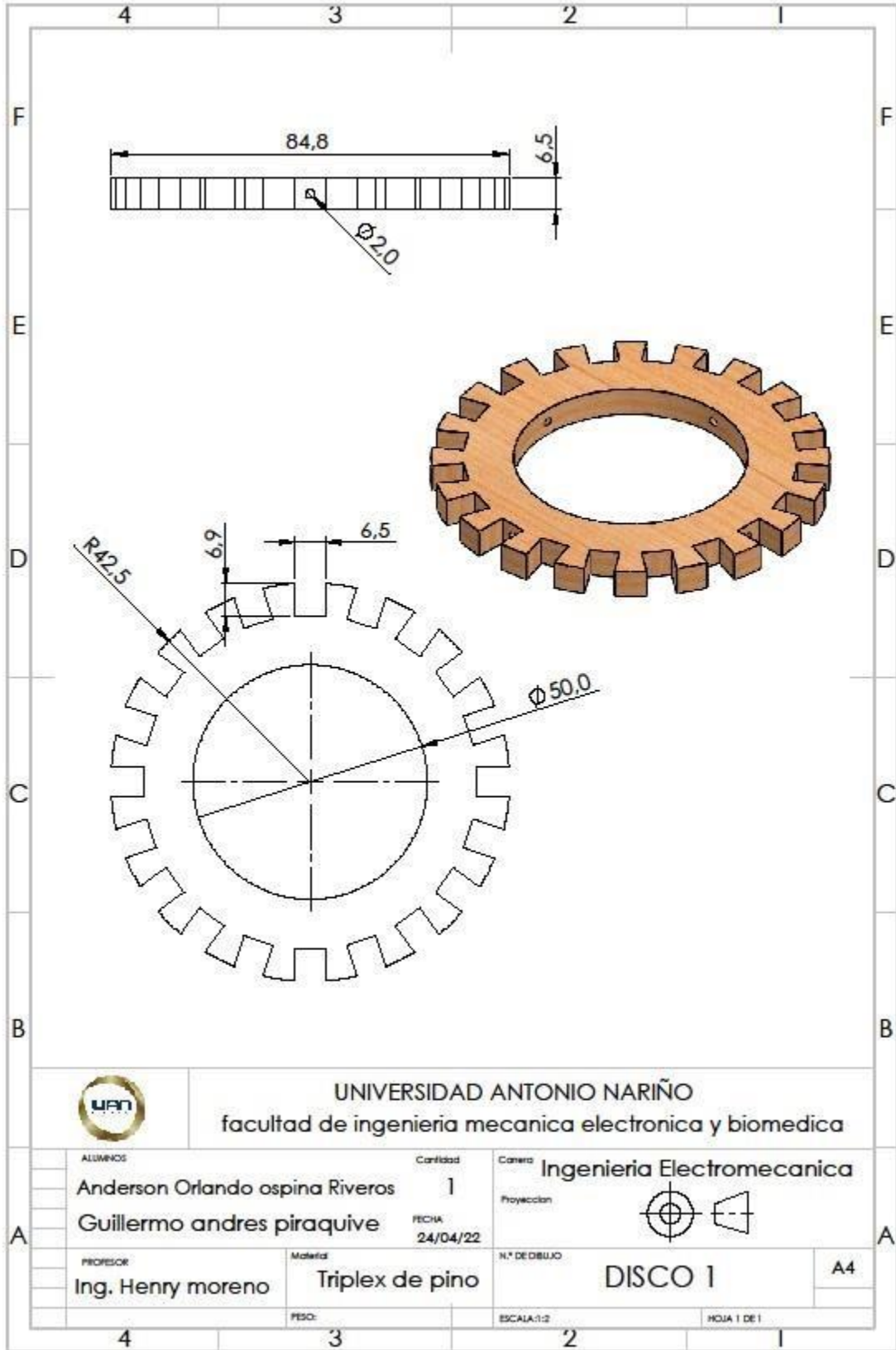
[43] Fuente: machine, c.-s. C. (s.f.). *Wooden design lamps – lamps made of wood / birch – plywood – designer lamps*. Obtenido de <https://www.cnc-step.com/designwoodlamps/>

## **9 ANEXOS**

### **A) PLANOS LUMINARIA COLGANTE 'PIÑA'**







UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andrés Piraquive

Cantidad: 1  
 FECHA: 24/04/22

Carrera: Ingeniería Electromecánica



PROFESOR  
 Ing. Henry Moreno

Materia: Triplex de pino

N.º DE DIBUJO: DISCO 1

A4

4

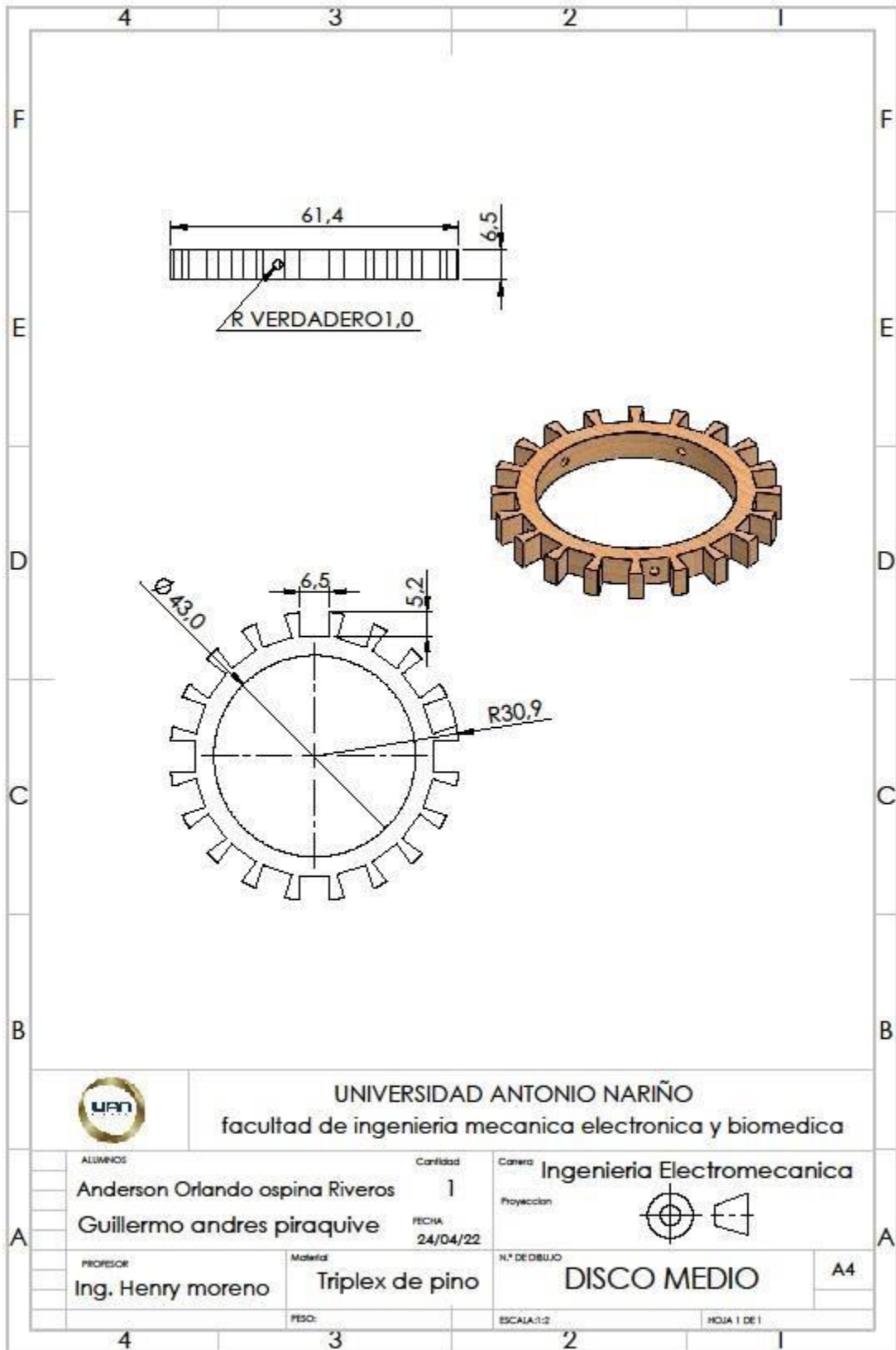
3

2

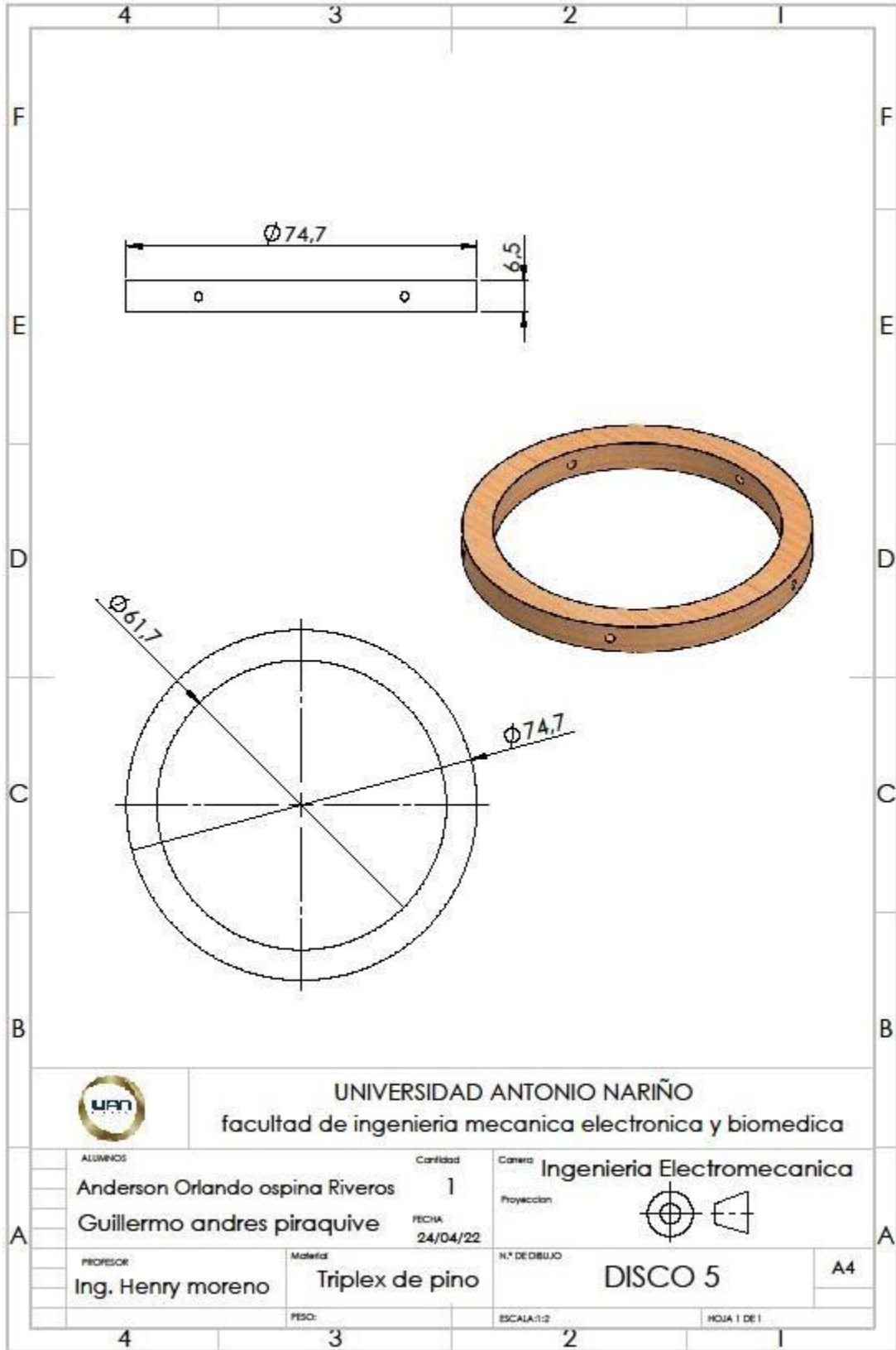
1

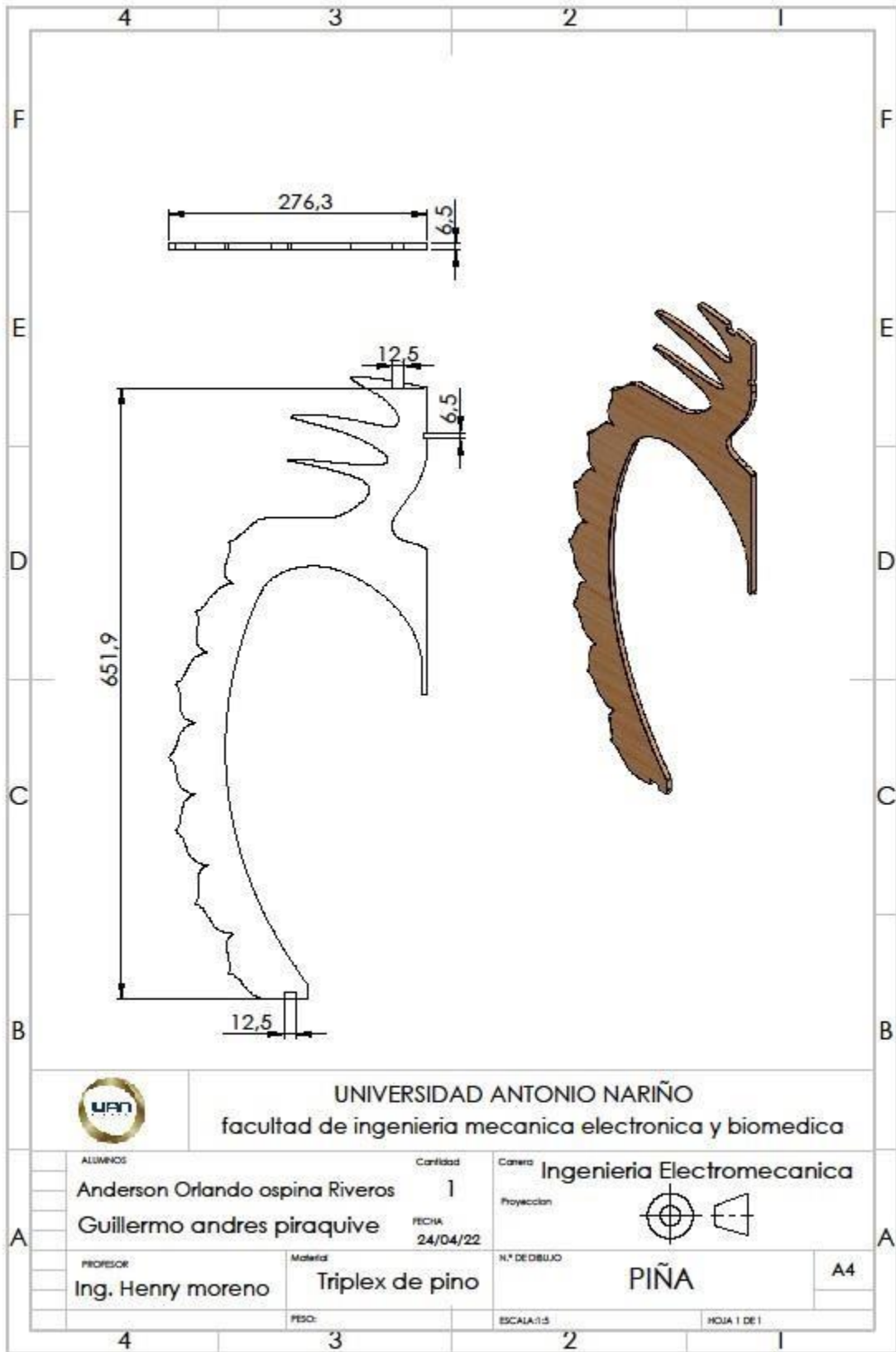
ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1



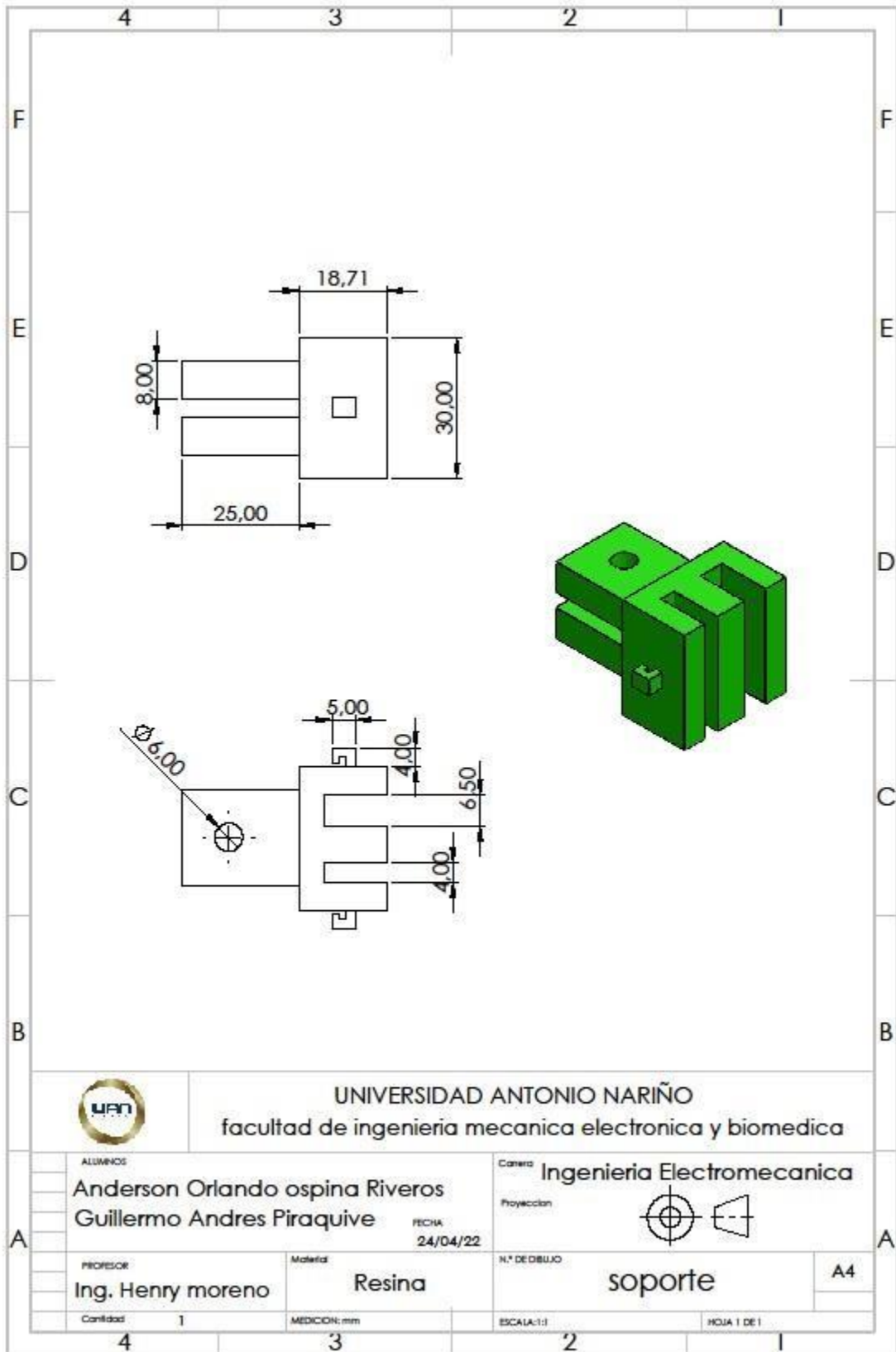






UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS		Cantidad	Carrera	
Anderson Orlando Ospina Riveros		1	Ingeniería Electromecánica	
Guillermo Andrés Piraquive		FECHA	Proyección	
		24/04/22		
PROFESOR	Materia	N.º DE DIBUJO		
Ing. Henry Moreno	Triplex de pino	PIÑA	A4	
PESO:	ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1		



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive

Carrera Ingeniería Electromecánica



FECHA  
 24/04/22

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia  
 Resina

N.º DE DIBUJO  
 soporte

A4

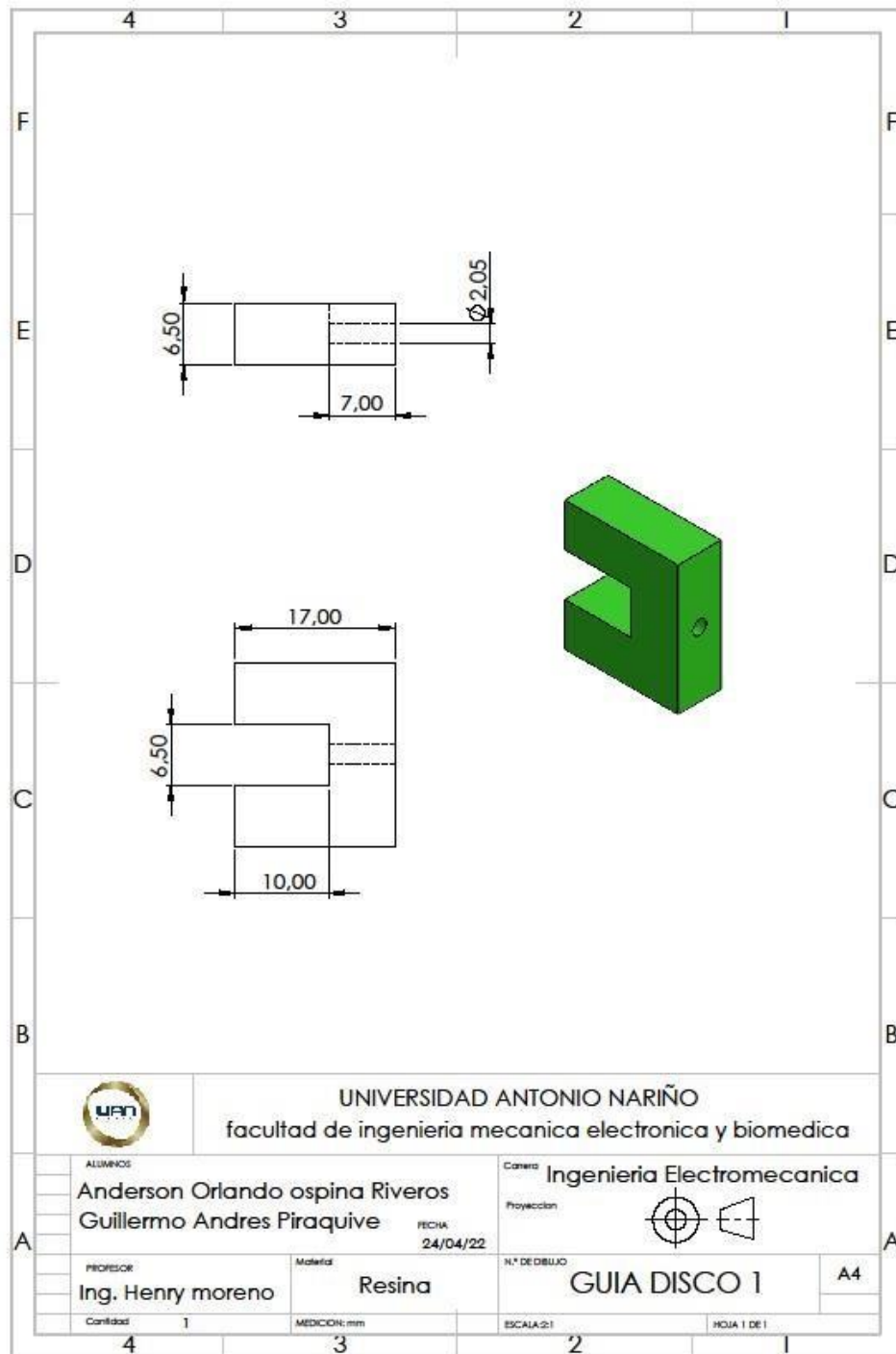
Cantidad 1

MEDICIÓN: mm

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 1

**B) PLANOS DE PLANTILLAS PARA PERFORACION- LUMINARIA 1**



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive

Canera Ingeniería Electromecánica



FECHA  
 24/04/22

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia  
 Resina

N.º DE DIBUJO  
 GUIA DISCO 1

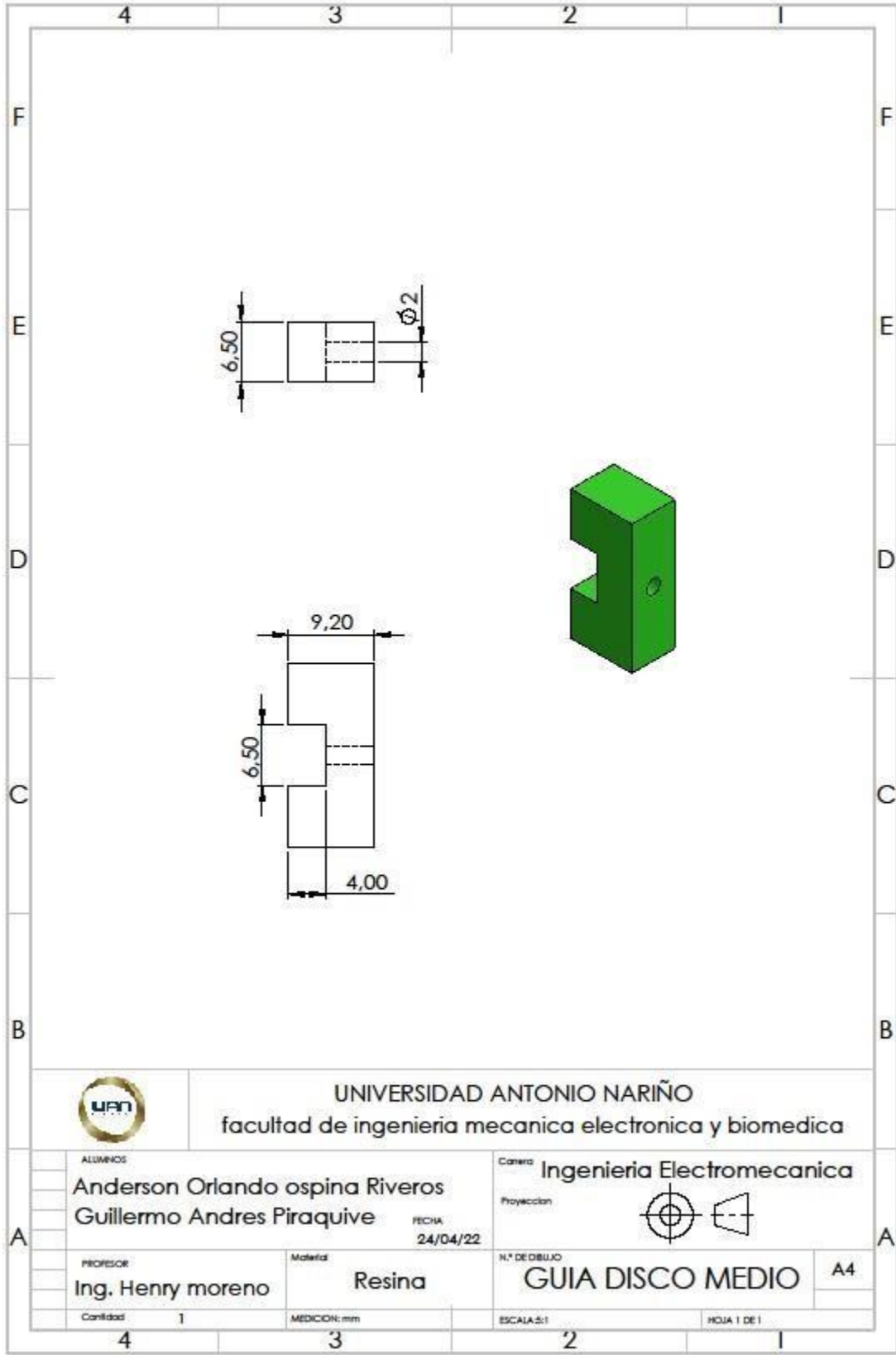
A4

Cantidad 1

MEDICION: mm

ESCALA: 2:1

HOJA 1 DE 1



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive  
 FECHA: 24/04/22

Carrera: Ingeniería Electromecánica  
 Proyección:

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia: Resina

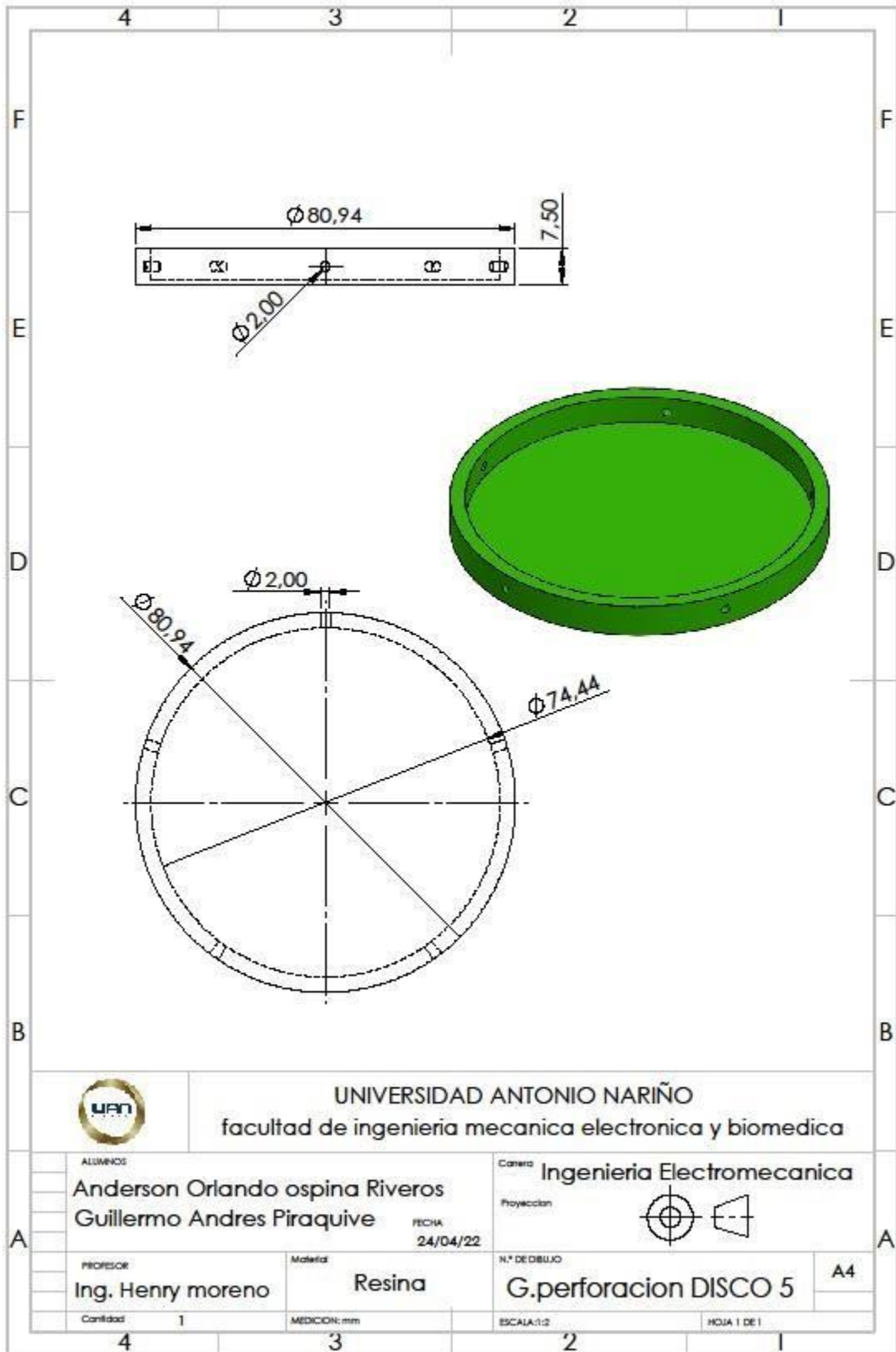
N.º DE DIBUJO: GUIA DISCO MEDIO A4

Cantidad: 1

MEDICIÓN: mm

ESCALA: 1:1

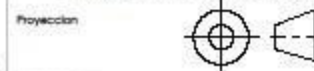
HOJA 1 DE 1



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive

Carrera Ingeniería Electromecánica



FECHA  
 24/04/22

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia  
 Resina

N.º DE DIBUJO  
 G.perforacion DISCO 5

A4

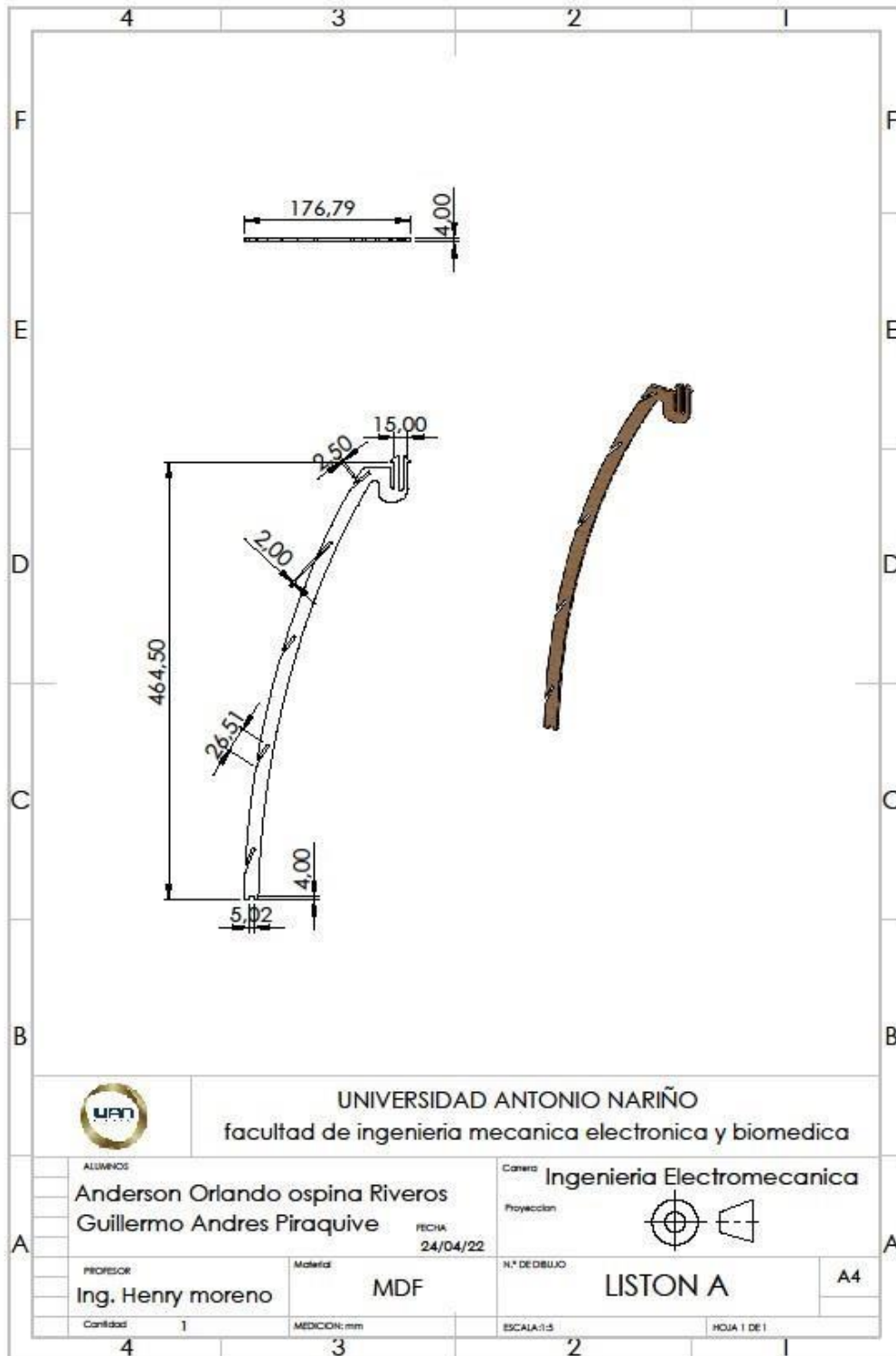
Cantidad 1

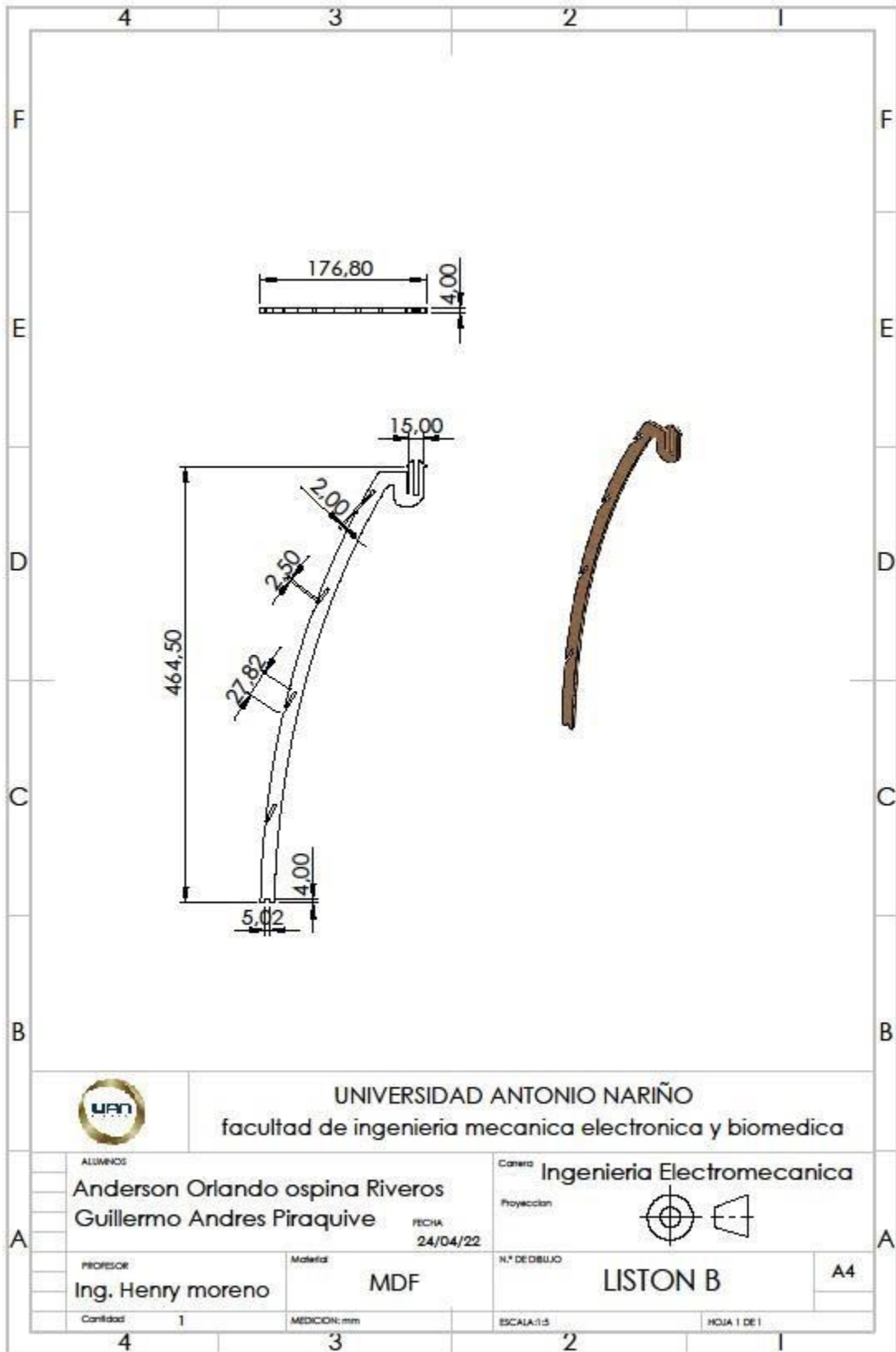
MEDICION: mm

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1

**C) PLANOS LUMINARIA 2 'HOJAS'**





UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive

Carrera Ingeniería Electromecánica



FECHA  
 24/04/22

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia  
 MDF

N.º DE DIBUJO  
 LISTON B

A4

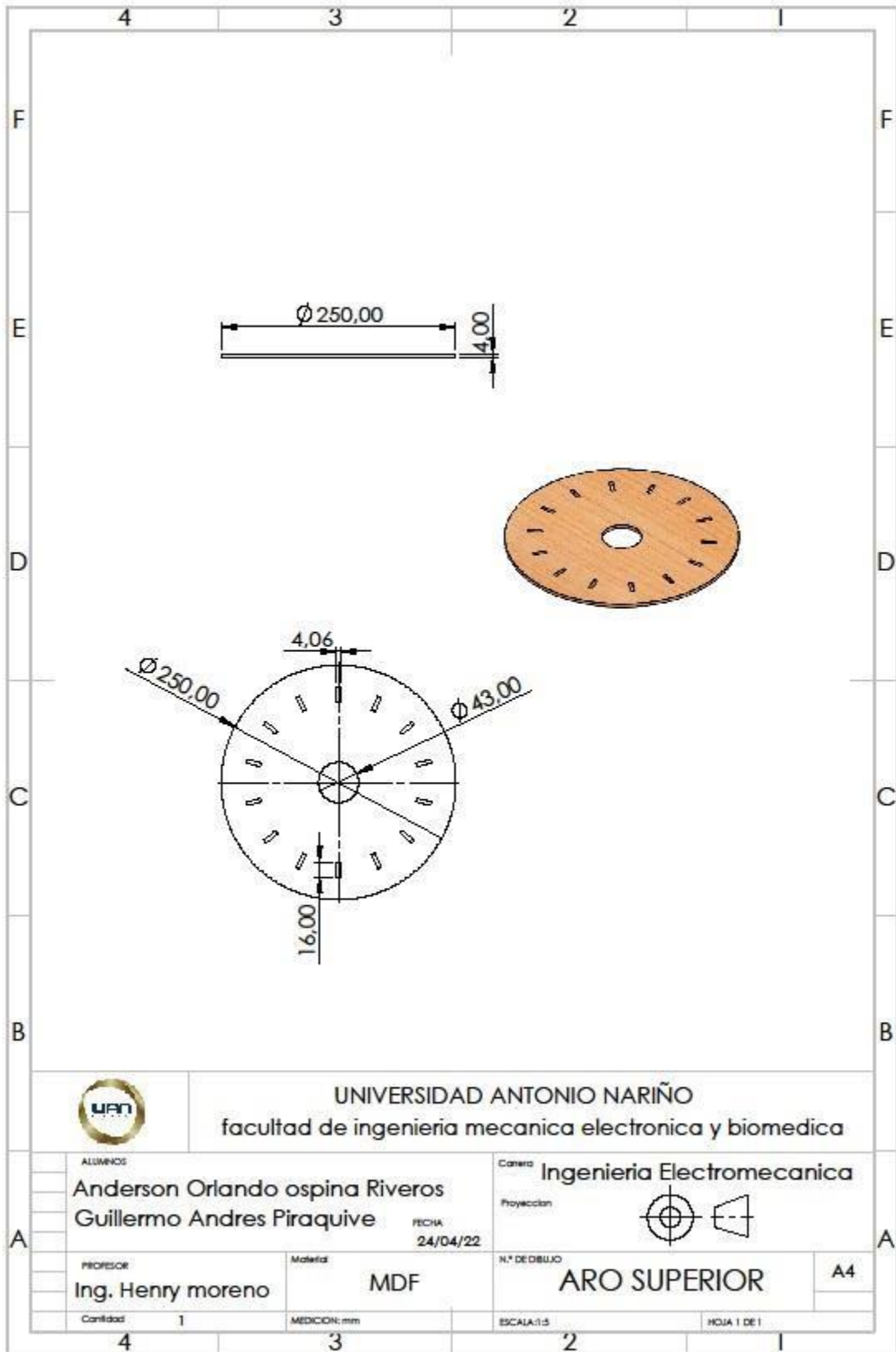
Cantidad 1

MEDICIÓN: mm

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 1





UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive

Carrera Ingeniería Electromecánica



FECHA  
 24/04/22

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia  
 MDF

N.º DE DIBUJO  
 ARO SUPERIOR

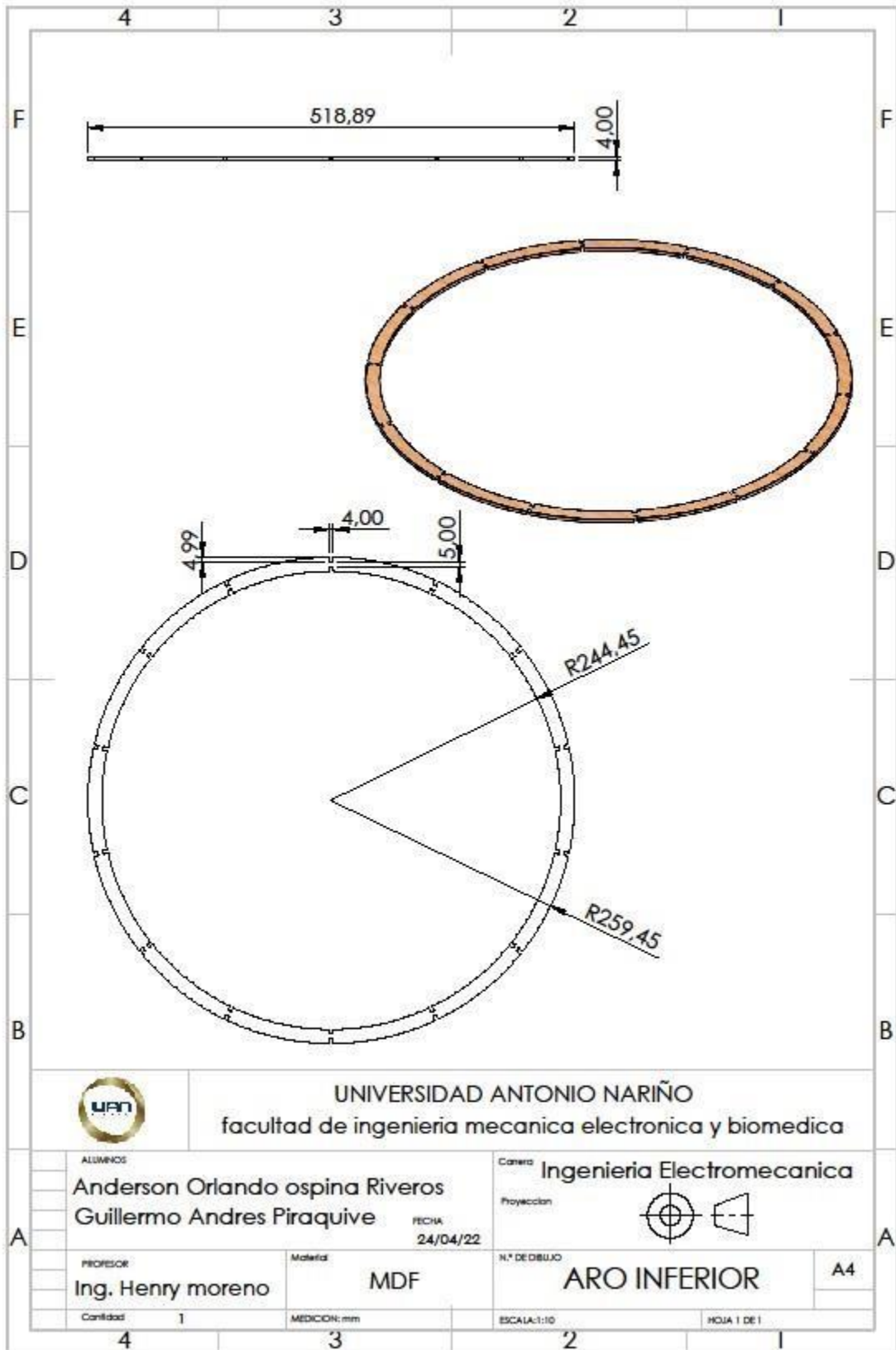
A4

Cantidad 1

MEDICIÓN: mm

ESCALA: 1:5

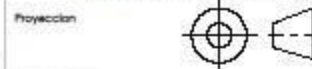
HOJA 1 DE 1



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive

Carrera Ingeniería Electromecánica



FECHA  
 24/04/22

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia  
 MDF

N.º DE DIBUJO  
 ARO INFERIOR

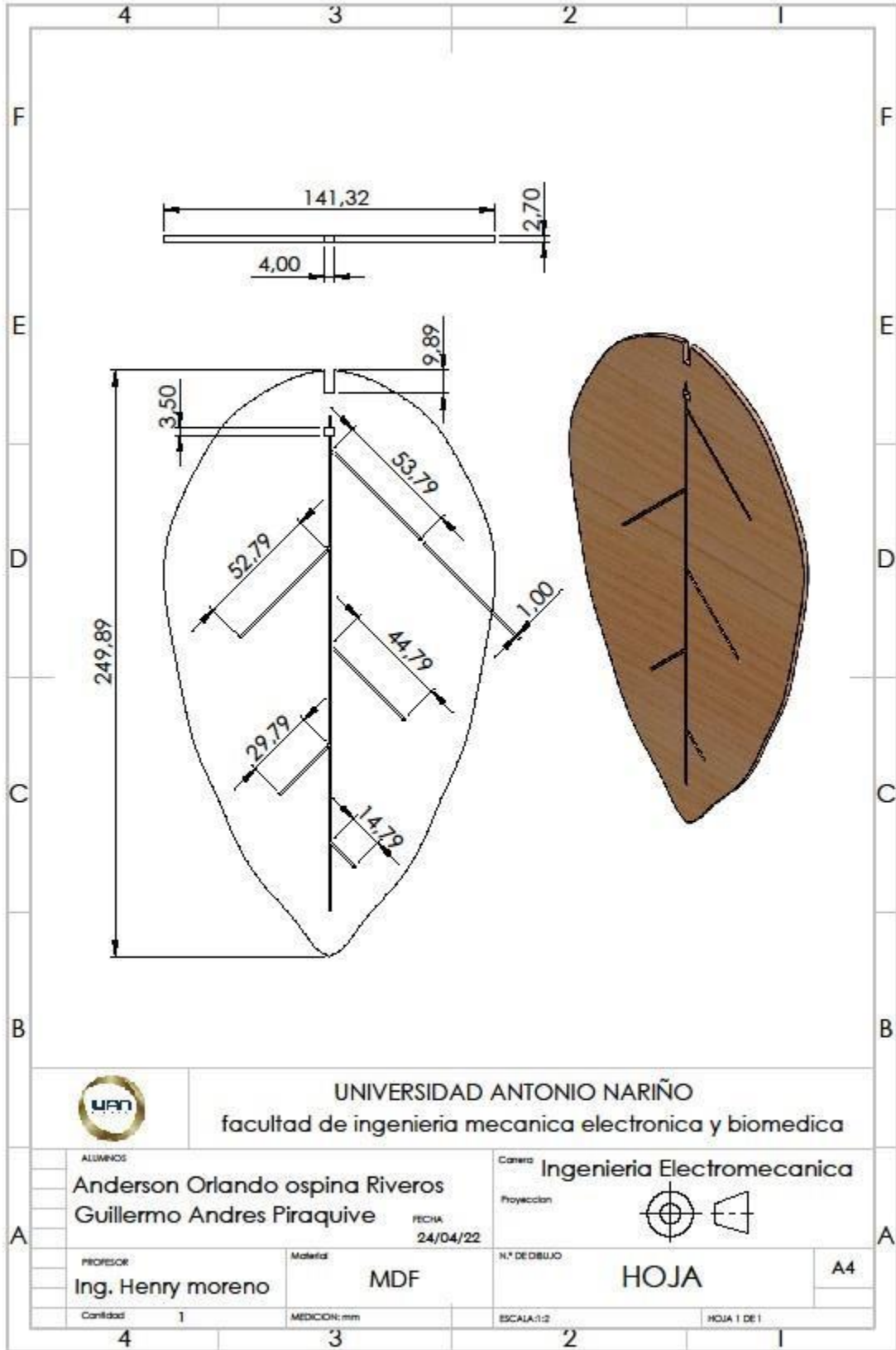
A4

Cantidad 1

MEDICIÓN: mm

ESCALA: 1:10

HOJA 1 DE 1



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive

Carrera Ingeniería Electromecánica



FECHA  
 24/04/22

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia  
 MDF

N.º DE DIBUJO  
 HOJA

A4

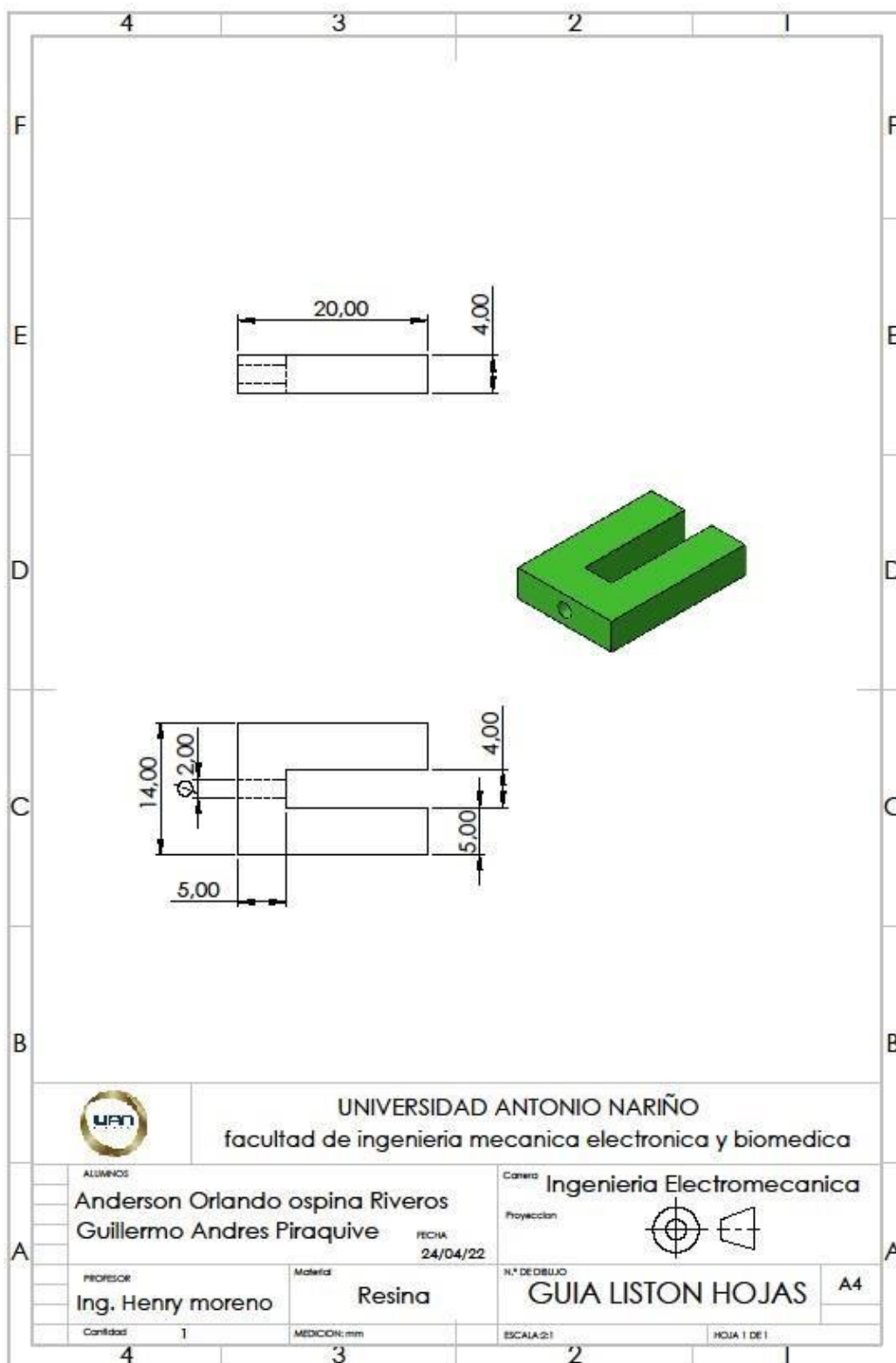
Cantidad 1

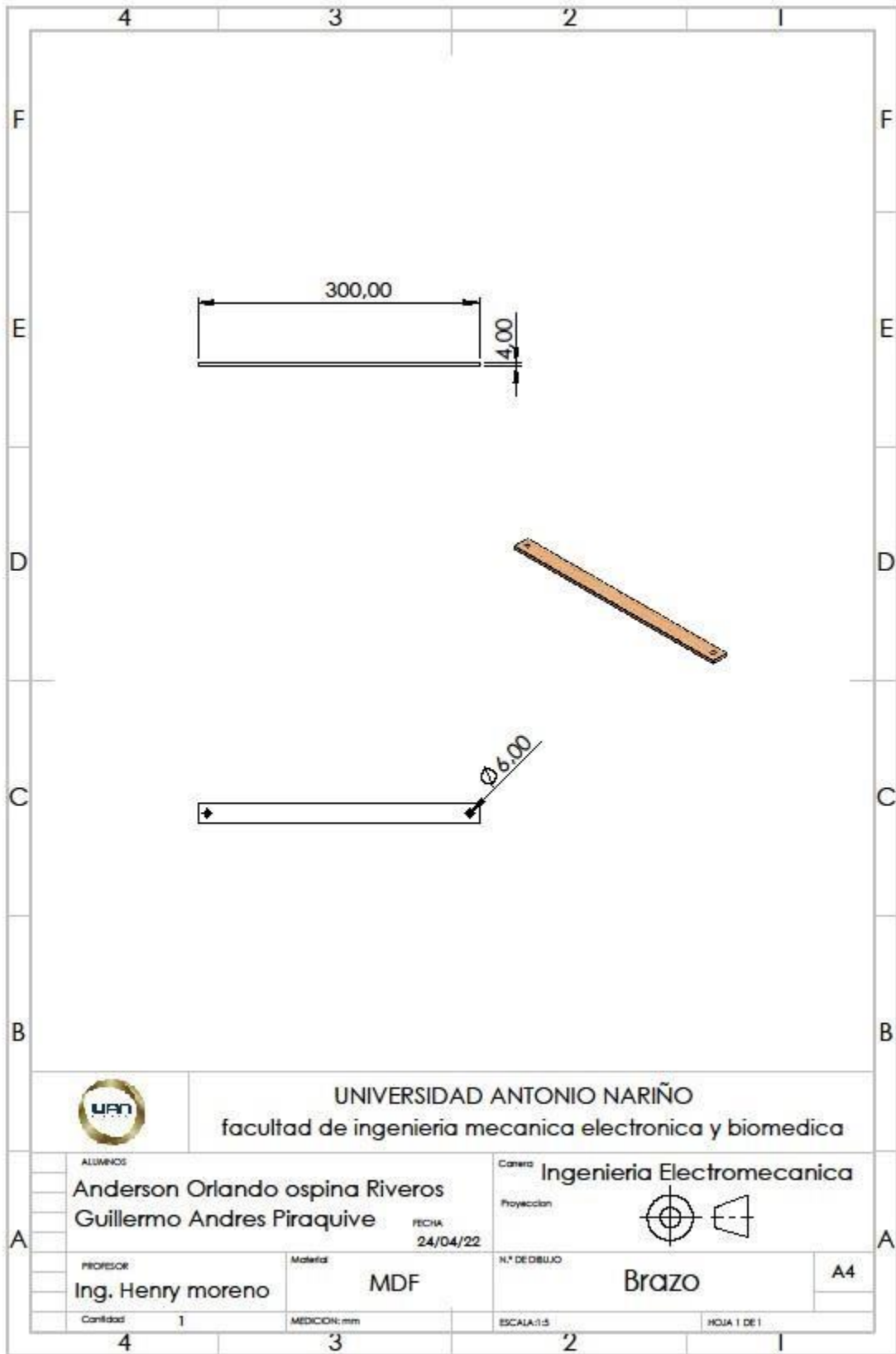
MEDICIÓN: mm

ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 1

**D) PLANOS DE PLANTILLAS PARA FABRICACION Y ENSAMBLE**

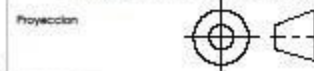




UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive  
 FECHA: 24/04/22

Carrera: Ingeniería Electromecánica



PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia: MDF

N.º DE DIBUJO: Brazo

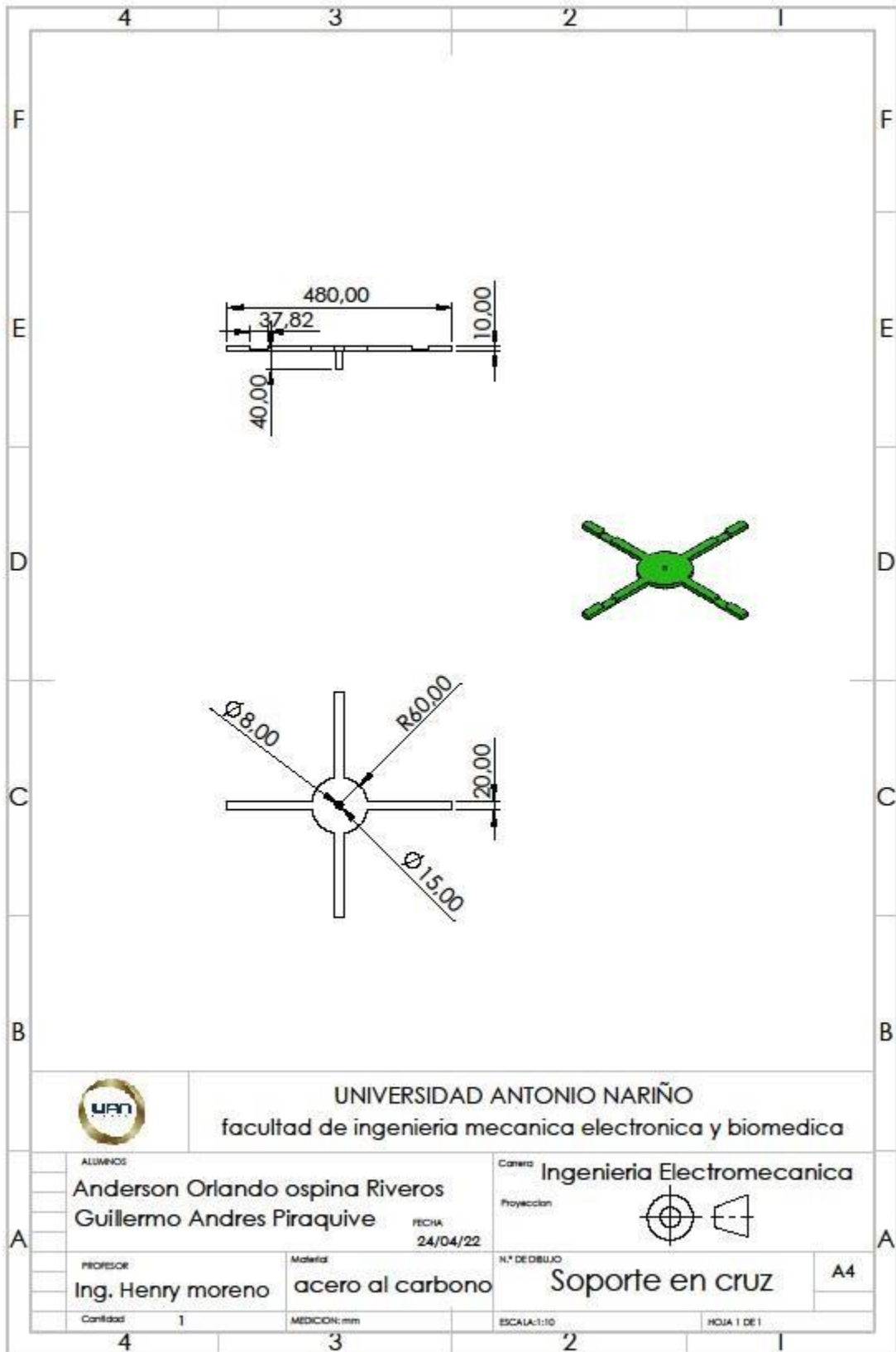
A4

Cantidad: 1

MEDICIÓN: mm

ESCALA: 1:5

HOJA 1 DE 1



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive

Carrera Ingeniería Electromecánica



FECHA  
 24/04/22

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia  
 acero al carbono

N.º DE DIBUJO  
 Soporte en cruz

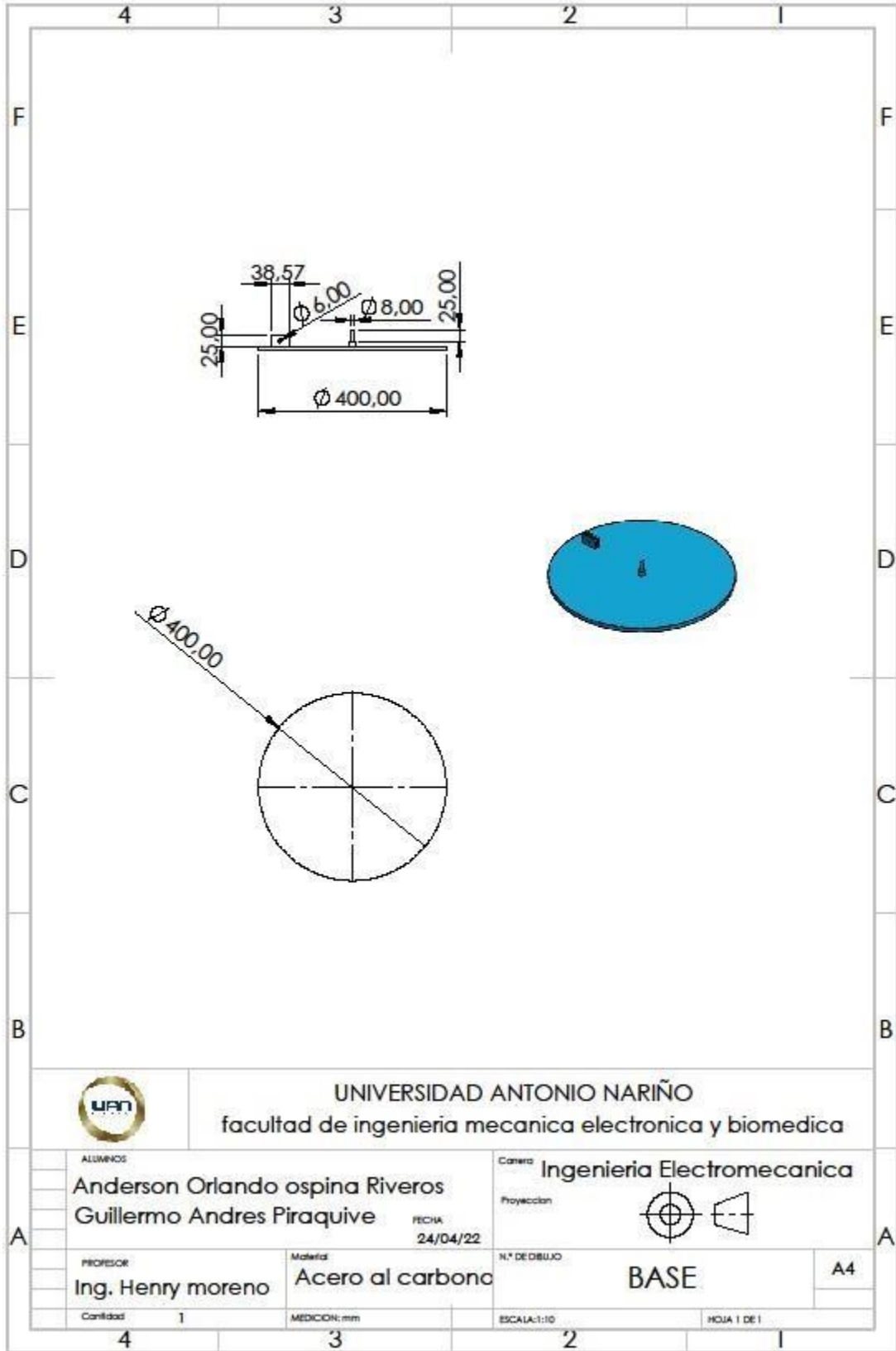
A4

Cantidad 1

MEDICIÓN: mm

ESCALA: 1:10

HOJA 1 DE 1



UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
 facultad de ingeniería mecánica electrónica y biomédica

ALUMNOS  
 Anderson Orlando Ospina Riveros  
 Guillermo Andres Piraquive

Carrera Ingeniería Electromecánica



FECHA  
 24/04/22

PROFESOR  
 Ing. Henry moreno

Materia  
 Acero al carbono

N.º DE DIBUJO  
 BASE

A4

Cantidad 1

MEDICIÓN: mm

ESCALA: 1:10

HOJA 1 DE 1

4

3

2

1





