



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

**Diseño y construcción de un prototipo de iluminación  
decorativa con tecnología LED, considerando la geometría del  
árbol schizolobium parahybum (pachaco)**

Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Electromecánico.

**AUTOR:**

Bryan Ricardo Alberca Agreda

**DIRECTOR:**

Dr.C. Jorge Enrique Carrión González, Ph.D.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 03 de agosto de 2023

Dr.C. Jorge Enrique Carrión González, Ph.D.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **C E R T I F I C O:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño y construcción de un prototipo de iluminación decorativa con tecnología LED, considerando la geometría del árbol schizolobium parahybum (pachaco)** previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del estudiante **Bryan Ricardo Alberca Agreda**, con **cédula de identidad Nro. 1900594415**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

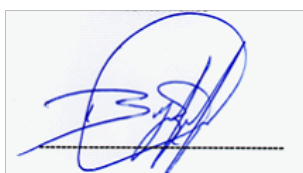
Dr.C. Jorge Enrique Carrión González, Ph.D.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Bryan Ricardo Alberca Agreda**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular o de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de identidad:** 1900594415

**Fecha:** 3 de agosto del 2023

**Correo electrónico:** bralbercaa@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0988893312

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Bryan Ricardo Alberca Agreda**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño y construcción de un prototipo de iluminación decorativa con tecnología LED, considerando la geometría del árbol schizolobium parahybum (pachaco)**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de agosto del dos mil veintitrés.

**Firma:**



**Autor:** Bryan Ricardo Alberca Agreda

**Cédula:** 1900594415

**Dirección:** Yantzaza – Zamora Chinchipe - Ecuador

**Correo electrónico:** bralbercaa@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0988893312

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Mgs. Jorge Enrique Carrión González, PhD.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a toda mi familia, hermanas y en especial a mis padres que me dieron la oportunidad de estudiar y poder culminar mi profesión, apoyándome siempre en las buenas y sobre todo en las malas.

Les doy gracias por forjarme con muchos valores, perseverancia y valentía para poder enfrentar los obstáculos sin perder la cabeza. Todo esto con mucho amor y sin nada a cambio.

También quiero dedicarle este trabajo a mi mujer, por su paciencia, comprensión y ser mi mano derecha ayudándome a administrar nuestro negocio para así dar todo mi potencial en este proyecto. Nunca dejaré de estar agradecido por esto.

***Bryan Ricardo Alberca Agreda***

## **Agradecimiento**

Doy gracias a Dios que me brindo las mejores oportunidades y fue mi guía en mi vida universitaria.

Estoy enormemente agradecido con mis padres por apoyarme en todo y ser comprensivos conmigo

Fui bien acogido en la Universidad Nacional de Loja y le agradezco por brindarnos una educación gratuita y de calidad.

A sus maestros que supieron educarnos y guiarnos para encaminar nuestra profesión.  
A mi director del Trabajo de Titulación quine me apoyo en esta investigación y me ayudo a ensamblarlo, muchas gracias por todo.

***Bryan Ricardo Alberca Agreda***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1. Abstract.....	<b>3</b>
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>5</b>
4.1. Capítulo 1: Árbol schizolobium parahybum (Pachaco) .....	<b>5</b>
4.1.1. Descripción.....	<b>5</b>
4.1.2. Taxonomía.....	<b>5</b>
4.1.3. Descripción botánica .....	<b>6</b>
4.2. Capítulo 2: Análisis lumínico .....	<b>6</b>
4.2.1. Flujo luminoso ( $\Phi$ ) .....	<b>6</b>
4.2.2. Eficiencia luminosa.....	<b>7</b>
4.2.3. Intensidad luminosa.....	<b>8</b>
4.2.4. Distribución y medida de la intensidad luminosa.....	<b>8</b>
4.2.5. Iluminancia .....	<b>8</b>
4.2.6. Luminancia .....	<b>9</b>
4.2.7. Color.....	<b>10</b>
4.2.8. Cálculo de alumbrado público por el método del punto por punto.....	<b>10</b>
4.2.9. Normativa para el alumbrado ornamental.....	<b>11</b>
4.2.10. Postes metálicos.....	<b>12</b>
4.2.11. Iluminación LED.....	<b>12</b>
4.3. Capítulo 3: Diseño eléctrico.....	<b>13</b>
4.3.1. Conductor eléctrico.....	<b>13</b>
4.3.2. Flexibilidad .....	<b>14</b>
4.3.3. Conductores comerciales .....	<b>14</b>
4.3.4. Intensidad de corriente .....	<b>15</b>

4.3.5.	<i>Caída de tensión</i> .....	15
4.3.6.	<i>Sistemas de protección en instalaciones eléctricas.</i> .....	16
4.3.7.	<i>Fusible</i> .....	16
4.3.8.	<i>Breaker</i> .....	17
4.3.9.	<i>Aplicaciones y beneficios del breaker.</i> .....	17
4.3.10.	<i>Cálculo de las protecciones eléctricas</i> .....	18
4.4.	Capítulo 4: Diseño mecánico.....	18
4.4.1.	<i>Compresión axial - columnas</i> .....	18
4.4.2.	<i>Cálculo de soldadura</i> .....	22
4.4.3.	<i>Vigas a flexión</i> .....	26
4.4.4.	<i>Uniones móviles o pernos</i> .....	27
4.4.5.	<i>Resistencia del material al corte</i> .....	31
4.5.	Capítulo 5: Análisis económico .....	31
4.5.1.	<i>Costos de producción</i> .....	31
4.5.2.	<i>Periodo de retorno de inversión</i> .....	32
<b>5.</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>33</b>
5.1.	Recursos y Materiales.....	33
5.1.1.	<i>Recursos Técnicos</i> .....	33
5.1.2.	<i>Recursos Bibliográficos</i> .....	33
5.2.	Métodos .....	33
5.2.1.	<i>Revisión Bibliográfica</i> .....	33
5.2.2.	<i>Aplicación de una práctica experimental</i> .....	34
5.2.3.	<i>Diseño eléctrico</i> .....	34
5.2.4.	<i>Diseño mecánico</i> .....	34
5.2.5.	<i>Construcción del prototipo</i> .....	36
5.2.6.	<i>Validación por análisis lumínico</i> .....	36
5.2.7.	<i>Análisis económico</i> .....	37
<b>6.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>38</b>
6.1.	Condiciones iniciales de diseño .....	38
6.1.1.	<i>Mediciones del árbol pachaco</i> .....	38
6.1.2.	<i>Criterios del diseñador</i> .....	39
6.2.	Diseño mecánico.....	39
6.2.1.	<i>Diseño de las ramas</i> .....	39
6.2.2.	<i>Soldadura de la base de la rama</i> .....	41
6.2.3.	<i>Diseño del tronco</i> .....	42
6.2.4.	<i>Diseño de la base</i> .....	45
6.3.	Diseño eléctrico.....	48



6.3.1.	<i>Selección de la iluminación LED</i> .....	48
6.3.2.	<i>Demanda eléctrica y protecciones</i> .....	49
6.3.3.	<i>Cálculo del conductor</i> .....	50
6.4.	Construcción del árbol.....	51
6.4.1.	<i>Insumos y materiales</i> .....	51
6.4.2.	<i>Construcción del prototipo</i> .....	52
6.4.3.	<i>Mediciones luminotécnicas realizadas con la implementación del prototipo de iluminación</i> .....	56
6.4.4.	<i>Análisis de costos</i> .....	58
7.	<b>Discusión</b> .....	61
8.	<b>Conclusiones</b> .....	62
9.	<b>Recomendaciones</b> .....	63
10.	<b>Bibliografía</b> .....	64
11.	<b>Anexos</b> .....	66

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Taxonomía específica de Árbol schizolobium parahybum (pachaco).....	6
<b>Tabla 2.</b> Composición del árbol de pachó.....	6
<b>Tabla 3.</b> Valores recomendados.....	11
<b>Tabla 4.</b> Calibre de conductores y sección de cada uno.....	15
<b>Tabla 5.</b> Factores de longitud efectiva, según la condición terminal de la columna ....	20
<b>Tabla 6.</b> Propiedades mínimas del metal de aporte.....	25
<b>Tabla 7.</b> Esfuerzos permisibles del código AISC para el metal de aporte.....	25
<b>Tabla 8.</b> Tamaño de la soldadura.....	26
<b>Tabla 9.</b> Cargas en vigas en voladizo o ménsulas.....	26
<b>Tabla 10.</b> Mediciones realizadas a diferentes árboles.....	38
<b>Tabla 11.</b> Mediciones realizadas a diferentes árboles.....	38
<b>Tabla 12.</b> Características por cada rama.....	40
<b>Tabla 13.</b> Dimensiones para ramificaciones con tubo de acero de 1 ¼”.....	40
<b>Tabla 14.</b> Potencia requerida por cada rama.....	49
<b>Tabla 15.</b> Insumo y materiales requeridos para la construcción.....	51
<b>Tabla 16.</b> Herramientas requeridas para el proyecto.....	52
<b>Tabla 17.</b> Costo de mano de obra empleada en la construcción.....	52
<b>Tabla 18.</b> Medición de lúmenes en la zona donde se implementa el prototipo.....	57
<b>Tabla 19.</b> Costos indirectos de la construcción del prototipo.....	58
<b>Tabla 20.</b> Cédula 40.....	70
<b>Tabla 21.</b> Diámetros y pareas de roscas métricas de paso grueso y fino.....	71
<b>Tabla 22.</b> Dimensiones de roscas hexagonales.....	72
<b>Tabla 23.</b> Clases métricas de propiedades mecánicas de pernos.....	72
<b>Tabla 24.</b> Características de la plancha de acero al carbono laminado en frío.....	73
<b>Tabla 25.</b> Catálogo de interruptores termo magnéticos.....	73

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Árbol Schizolobium parahybum (Pachaco).....	5
<b>Figura 2.</b> Luxómetro Unit-T Ut383 Ecuaplus .....	9
<b>Figura 3.</b> Colores con la longitud de onda correspondiente.....	10
<b>Figura 4.</b> Tonalidades de color de la iluminación LED en grados Kelvin.....	13
<b>Figura 5.</b> Conexión del receptor con el generador mediante conductores .....	14
<b>Figura 6.</b> Tipos de cableado. a) Alambre, b) Cable, c) Cordón.....	14
<b>Figura 7:</b> Fusible de doble elemento .....	17
<b>Figura 8.</b> Breaker o interruptor termomagnético.....	17
<b>Figura 9.</b> Diversas condiciones de columna y sus curvas de deflexión resultantes ....	20
<b>Figura 10.</b> Perspectiva de un elemento soldado y sometido a un momento .....	23
<b>Figura 11.</b> Garganta de la soldadura.....	24
<b>Figura 12.</b> Terminología de roscas de tornillo.....	27
<b>Figura 13.</b> Rigidez del sujetador.....	29
<b>Figura 14.</b> Flujograma del desarrollo del proyecto de investigación .....	33
<b>Figura 15.</b> Longitud de la rama .....	35
<b>Figura 16.</b> Puntos para realizar las mediciones fotométricas.....	36
<b>Figura 17.</b> Diagrama de cuerpo libre .....	41
<b>Figura 18.</b> Velocidades máximas del viento correspondiente a los meses del 2022...	43
<b>Figura 19.</b> Altura del árbol de Pachaco .....	44
<b>Figura 20.</b> Base del árbol Pachaco .....	47
<b>Figura 21.</b> Cinta LED alta potencia 110 V 2835 10m.....	49
<b>Figura 22.</b> Diagrama eléctrico del sistema de iluminación del árbol .....	50
<b>Figura 23.</b> Modela 3D del árbol Pachaco .....	53
<b>Figura 24.</b> Puntos de salida para las ramificaciones del árbol.....	53
<b>Figura 25.</b> Base unida al tronco del árbol.....	54
<b>Figura 26.</b> Acoplamiento de las ramas a la base unida al tronco.....	54
<b>Figura 27.</b> Corte longitudinal y adaptación del perfil de las luces LED .....	55
<b>Figura 28.</b> Unión no fija de las ramas a la base.....	55
<b>Figura 29.</b> Instalación del sistema de iluminación y sistema de control eléctrico .....	56
<b>Figura 30.</b> Funcionamiento del prototipo de iluminación y comparación con el árbol Pachaco.....	56
<b>Figura 31.</b> Simulación de lámpara comercial en DIALux evo.....	59
<b>Figura 32.</b> Curva isolux de la lámpara comercial.....	60

**Índice de anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Práctica experimental.....	66
<b>Anexo 2.</b> Tubería de acero negro NTE INEN 2415 .....	70
<b>Anexo 3.</b> Diámetros y áreas roscas métricas de paso grueso y fino.....	71
<b>Anexo 4.</b> Características de la plancha de acero negro .....	73
<b>Anexo 5.</b> Catálogos de insumos eléctricos.....	73
<b>Anexo 6.</b> Lámpara comercial disponible en el mercado .....	74
<b>Anexo 7.</b> Planos del proyecto.....	75
<b>Anexo 8.</b> Simulación de la lámpara comercial en Dialux. ....	76
<b>Anexo 9.</b> Certificado de la traducción del resumen .....	76

## **1. Título**

**Diseño y construcción de un prototipo de iluminación decorativa con tecnología LED, considerando la geometría del árbol schizolobium parahybum (pachaco)**

## 2. Resumen

El árbol de *Schizolobium parahybum* (Pachaco) es una especie vegetal emblemática de la zona oriental del Ecuador, que dado sus características botánicas ha sido ampliamente utilizado para cubrir las necesidades de las comunidades. En honor a esta especie de árbol, la presente investigación tiene como objetivo principal implementar un prototipo de iluminación decorativa urbana basado en la geometría del árbol *Schizolobium parahybum* (Pachaco).

Para ello se planteó una metodología que abarca siete actividades involucradas en el diseño, validación y análisis económico del prototipo, obteniendo como resultado un sistema de iluminación de escala 1:10 con respecto a la geometría de un árbol de Pachaco; que tiene 3 m de altura, ramas fabricadas en tubería de acero de 2 mm espesor de 1 ¼" y de 2" para el tronco, sostenido con una placa base de ASTM A131 de 6mm de espesor y 4 pernos 5M0812540. Como fuente de iluminación se utilizó tiras LED 2835 de color blanca de 110 V con una potencia de consumo de 15 W por metro, el sistema está protegido por un fusible de 2 A y un disyuntor de 15 A.

Como resultado del proyecto se obtiene un prototipo que por fotometría cumple con la RT INEN 069 y de acuerdo al análisis económico tiene un costo de implementación de 323.36 USD y un periodo de retorno de inversión de 96.67 meses.

**Palabras clave:** Pachaco, LED. iluminación decorativa, *schizolobium parahybum*

## 2.1. Abstract

The *Schizolobium parahybum* (Pachaco) tree is an emblematic plant species of eastern Ecuador, which given its botanical characteristics has been widely used to fulfill the needs of communities. In honor of this tree species, the main objective of this research is to implement a prototype of urban decorative lighting based on the geometry of the *Schizolobium parahybum* (Pachaco).

For this purpose, a methodology was developed that includes seven activities involved in the design, validation, and economic analysis of the prototype with the result of a 1:10 scale lighting system concerning the geometry of a Pachaco tree; which is 3 m high, branches made of 2 mm thick steel pipe of 1 ¼” and 2” for the trunk, supported by a 6 mm thick ASTM A131 base plate and 4 bolts 5M0812540. The lighting source used was 110 V white LED 2835 strips with a power consumption of 15 W per meter, the system is protected by a 2 A fuse and a 15 A circuit breaker.

As a result, a prototype is obtained that by photometry complies with RT INEN 069 and according to the economic analysis has an implementation cost of 323.36 USD and a payback period of 96.67 months.

**Keywords:** *Pachaco, LED. decorative lighting, schizolobium parahybum*

### 3. Introducción

La zona oriental del Ecuador se caracteriza por su exuberante y amplio abanico de biodiversidad, el cuál es aprovechado por las comunidades para cubrir sus necesidades. Dentro del grupo de especies vegetales utilizadas se encuentra el árbol de *Schizolobium parahybum* (Pachaco), que se caracteriza por su altura, que borda los 30 m de altura, y por el crecimiento de sus fustes. Por lo tanto, en honor a esta especie de árbol, en la presente investigación se desarrolla e implementa un prototipo de iluminación, basado en su geometría con escala 1:10.

Para ello se estructuró el Marco Teórico con 5 capítulos. En el capítulo 1, se describe toda la información técnica correspondiente al Árbol *Schizolobium Parahybum* (Pachaco), como su taxonomía y descripción botánica. El capítulo 2, aborda la información técnica relacionada con el análisis lumínico; el capítulo 3 argumenta los fundamentos de diseño eléctrico, en el capítulo 4 se expone el diseño mecánico. Por último, en el capítulo 5 se describe toda la información relacionada con el análisis económico por la implementación del proyecto.

Dentro del proceso metodológico se pone en práctica siete actividades relacionadas con la revisión bibliográfica, levantamiento de la información, el diseño eléctrico y mecánico del prototipo con materiales disponibles en el mercado, así como la construcción, validación de acuerdo a la RT INEN 069 y análisis económico.

Obteniendo como resultado un prototipo de 3 m de altura, con ramas fabricadas en tubería de acero negro de 1¼" con 2 mm de espesor y para el tronco se implementó una tubería de acero negro de 2" con 2 mm de espesor, el cual estará unida a una placa de ASTM A131 de 6 mm de espesor, que se fijará a la base mediante 4 pernos 5M0812540. Todas las uniones soldadas se las realizaron con el electrodo E7018 y como fuente de iluminación se utilizó tira LED 2835 de color blanca de 110 V con una potencia de consumo de 15 W por metro, ubicado en perfiles de 2 mm de espesor. Como protección se utilizó un fusible de 2 A y un breaker de 15 A.

Mediante la memoria técnica de cálculo, se validó el diseño y construcción de un prototipo de un sistema de iluminación con tecnología LED basado en la geometría del árbol *Schizolobium parahybum* (Pachaco), cuyo funcionamiento fotométrico fue validado según la normativa y se determinó un periodo de retorno de inversión del prototipo de 96.67 meses, con respecto al ahorro energético contrastado con otra luminaria disponible en el mercado.



## 4. Marco Teórico

### 4.1. Capítulo 1: Árbol *Schizolobium parahybum* (Pachaco)

#### 4.1.1. Descripción

*Schizolobium parahybum* (Vell) Blake es una leguminosae caducifolia o semicaducifolia que pertenece a la familia Fabacea, tal y como se muestra en la Figura 1 y se desarrolla esporádicamente en las regiones trópicas húmedas, como las zonas orientales del Ecuador, esta es una especie pionera agresiva que frecuentemente crece sobre suelos arcillosos. Su corteza es de color gris claro, tiene una copa amplia que puede llegar a los 30 m de altura, con un diámetro promedio de 1 m cuando se encuentra en suelos profundos. La especie se caracteriza por sus fustes rectos, libres de ramas en los primeros 3 a 7 m del tronco. El *Schizolobium parahybum* se destaca entre las especies de rápido crecimiento del neotrópico; se encuentra comúnmente en grupos de 5 a 15 árboles en regiones tropicales húmedas (pero no inundadas). La gravedad específica del *Schizolobium parahybum* es baja, por lo tanto, su madera se considera demasiado blanda para la construcción, pero apropiadas para la industria en la fabricación de tableros deplywood (León et al., 199d. C.).



**Figura 1.** Árbol *Schizolobium parahybum* (Pachaco)

#### 4.1.2. Taxonomía

Este árbol presenta la clasificación taxonómica que se muestra en la Tabla 1 (Morales Escobar, 2021):

**Tabla 1.** Taxonomía específica de *Árbol schizolobium parahybum* (pachaco)

<b>Reino:</b>	<b>Plantae</b>
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase:</b>	Rosidae
<b>Orden:</b>	Fabales
<b>Familia:</b>	Fabaceae
<b>Género:</b>	Shizolobium
<b>Especie:</b>	Parahybum
<b>Nombre Científico:</b>	Shizolobium Parahybum (Vell.) S. F. Blake
<b>Nombre vulgar:</b>	Pachaco
<b>Origen:</b>	Mesoamérica y Suramérica tropical

**Fuente:** (Morales Escobar, 2021)

#### **4.1.3. Descripción botánica**

El peso específico de la madera del *S. Parahybum* es blanda y posee un peso específico entre 0,25 a 0,40 cm<sup>3</sup>/g; además su composición botánica posee las características (Morales Escobar, 2021) que se exponen en la *Tabla 2*.

**Tabla 2.** Composición del árbol de pachaco

<b>Árbol</b>	Su tronco es recto, cilíndrico, limpio de ramas hasta gran altura, raíces tablares bajas. Copa grande cuando crece aislado y estrecha en plantaciones densas, de follaje verde claro y con una corteza externa algo áspera y de color café claro.
<b>Hojas</b>	Son bipinnadas, caducas y con folíolos elípticos de 2 a 3,5 cm de largo y de 1 a 1,5 cm de ancho.
<b>Flores</b>	Racimos de color amarillo y abundante.
<b>Frutos</b>	Posees vainas aplanadas, con semillas de 2 cm de longitud por lo general.

**Fuente:** (Morales Escobar, 2021)

## **4.2. Capítulo 2: Análisis lumínico**

### **4.2.1. Flujo luminoso ( $\Phi$ )**

Es la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente, debido a que no se puede aprovechar totalmente la capacidad de producción de luz, por las pérdidas de calor. Su unidad es el lumen (lm), que es la energía radiante emitida por un foco con intensidad de 1 candela (cd) en un ángulo sólido de 1 estereorradián (1 m<sup>2</sup> a 1 m de distancia) (Taboada, 1983). Se define mediante la Ecuación 1.

$$\phi = \frac{Q}{t}$$

Ecuación 1.

Donde:

$\Phi$  = Flujo luminoso (lm).

Q= Cantidad de la luz emitida (lmxs).

T = Tiempo de duración de la emisión (s).

#### 4.2.2. Eficiencia luminosa

No toda la energía eléctrica se transforma en luz, debido que a cierta parte se disipa en forma de calor, por lo tanto, entre menos cantidad de calor de disipe se obtiene un mayor rendimiento y ahorro energético. Se define mediante la Ecuación 2:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

$\Phi$  = Flujo luminoso (lm).

$\eta$  = Eficiencia luminosa (lm/W).

P = Potencia eléctrica consumida por la lámpara (s).

De acuerdo a las normas técnicas de para el diseño de redes eléctricas urbanas y rurales (EERSSA, 2012), la eficiencia energética de una instalación de alumbrado en exteriores, se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada del servicio de instalación y para la potencia activa total instalada, mediante la Ecuación 3:

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

S = Superficie iluminada (m<sup>2</sup>).

P = Potencia activa total instalada de lámparas y equipos auxiliares (W).

$E_m$  = Iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto (lux).

La eficiencia energética puede determinarse utilizando la Ecuación 4:

$$\varepsilon = \varepsilon_L * f_m * f_u \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

$\epsilon_L$  = Eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares ( $m^2$ ).

$f_m$  = Factor de mantenimiento (W).

$f_u$  = factor de utilización de la instalación (Lumen/W).

#### **4.2.3. Intensidad luminosa**

Es la energía luminosa o cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente en una dirección y su unidad es la candela (cd), que es una unidad fundamental del S.I. Esta magnitud se entiende únicamente referida a una determinada dirección y contenida en un ángulo sólido  $\omega$ . La intensidad luminosa de una fuente de luz en una determinada dirección es igual a la relación entre el flujo luminoso en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes, la Ecuación 5 la caracteriza (Sánchez Cueva, 2022).

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

$\Phi$  = Flujo luminoso (lm).

$I$  = Flujo luminoso (lm/W).

$\omega$  = Ángulo sólido (sr).

#### **4.2.4. Distribución y medida de la intensidad luminosa**

La distribución luminosa es el conjunto de la intensidad luminosa de una fuente en todas las direcciones, porque en la práctica se utiliza superficies luminosas más grandes cuya intensidad de radiación se ve afectada por la propia construcción. Si se representa como vectores la intensidad luminosa, se obtendrá un cuerpo llamado sólido fotométrico, la cual en un plano se denomina curva de distribución.

La medida de la intensidad luminosa, se la obtiene en laboratorios especializados, los cuales se basan en el cuadrado de la distancia de la iluminación de fuente y otra desconocida, situada una frente a otra en un mismo eje (Taboada, 1983).

#### **4.2.5. Iluminancia**

La iluminancia de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su extensión. La iluminancia se representa por la letra E, siendo su unidad el lux. Existen dos formas para determinar el nivel de iluminación, ya sea haciendo uso

del luxómetro, como el que se expone en la Figura 2, el cual mediante una célula fotoeléctrica utiliza la luz para incidir una corriente eléctrica para su medición; o mediante la Ecuación 6 (Sánchez Cueva, 2022):

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

$\Phi$  = Flujo luminoso (lm).

S = Superficie iluminada (m<sup>2</sup>).



**Figura 2.** Luxómetro Unit-T Ut383 Ecuaplus

#### 4.2.6. Luminancia

Es una relación entre la intensidad luminosa en una dirección y una superficie, se representa por la letra L, siendo su unidad la candela por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>); para fuentes con elevadas luminancias se hace uso del stilb (cd/cm<sup>2</sup>). La luminancia se expresa por la Ecuación 7:

$$L = \frac{I}{S * \cos(\alpha)} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

S \*  $\alpha$ : Superficie aparente

La luminancia se encuentra perpendicular a la superficie luminosa, el ángulo  $\alpha$  es igual a cero. La luminancia produce en el órgano visual la sensación de claridad, pues la luz se hace visible hasta que es reflejada por los cuerpos (Taboada, 1983).

#### 4.2.7. Color

Se dice que la luz está formada por siete colores primarios que conforman el arco iris y cada uno de ellos tiene su propia longitud de onda. El ojo humano percibe la longitud de la onda en forma de colores. Los cuerpos opacos reflejan un color mezclado en cambio los monocromáticos reflejan un color deformado. Los colores influyen en el confort de los usuarios, dependiendo de la actividad a realizar y el objeto que se desee iluminar, las diferentes longitudes de onda con sus respectivos colores son los que se muestran en la Figura 3 (Sánchez Cueva, 2022):

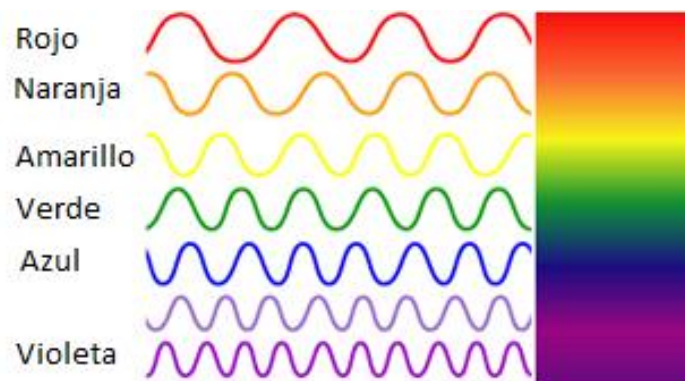


Figura 3. Colores con la longitud de onda correspondiente

#### 4.2.8. Cálculo de alumbrado público por el método del punto por punto

Mediante este método se calculan las iluminancias de varios puntos de la calzada, se expresa mediante la Ecuación 8 (Taboada, 1983).

$$E_{\alpha} = \frac{I_{\alpha} * \text{Cos}(\alpha)^3}{h^2} \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

$E_{\alpha}$ : Iluminancia de un punto de la calzada en lux (Valor inicial a la puesta en servicio).

$I_{\alpha}$ : Luminancia en candelas, obtenida de la curva de distribución o por medición directa en un punto dado.

$h$ : Altura del punto de luz sobre la calzada en metros.

$\alpha$ : Ángulo que forma el rayo incidente con la vertical que pasa por la luminaria.

Conocidas las iluminaciones de varios puntos, se obtiene la iluminación media, que afectada por el factor de conservación  $f$  debe ser igual o superior a la fijada en principio. Este método es muy laborioso, por ellos se hace uso de las curvas facilitadas por el fabricante y software que realizan el cálculo, punto por punto. Sin embargo,

conociendo el ángulo de medición y por fotometría se puede obtener la iluminación media, aplicando la Ecuación 9.

$$E_{med} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{\alpha_i}}{n} = \text{lux} \quad \text{Ecuación 9.}$$

#### 4.2.9. Normativa para el alumbrado ornamental

La tarea de visualización y las necesidades de los peatones, difieren de la velocidad de los movimientos, los objetos que se encuentran cerca de los peatones y la luz que es percibida por el ojo humano. De acuerdo a las normas de alumbrado público RTE INEN 069, el alumbrado público permite un rápido flujo del tránsito, con mayor seguridad y comodidad. La economía y estética de la instalación dependen del carácter del camino, su situación y la naturaleza y el volumen del tránsito.

Para el caso de alumbrado de partes, la clasificación que recibe de acuerdo a la norma ecuatoriana; los requisitos de alumbrado se clasifican en el grupo C, subclase C5 denominado “Centros de las ciudades y paseos centrales” los cuales tienen los requerimientos que se exponen en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Valores recomendados.

Grupo de Instalación de alumbrado	Tipo de camino	Luminancia promedio	Máximo índice admisible	Deslumbramiento	Tipo de luminaria recomendado	Tipo de luminaria permitida
C5	Centro de las ciudades y paseos centrales	>1,5	3,5:1	Reducido	-----	-----

**Fuente:** RTE INEN 069

Una instalación de alumbrado no debe ser eficiente sólo durante la noche. Debe tener una buena apariencia durante el día. Al diseñar una instalación debe darse cuidadosa atención al diseño de las luminarias y sus soportes y a los sitios en los que van a colocarse; para ello se debe seguir las siguientes recomendaciones:

- Sobriedad en el diseño.
- Localización adecuada del centro de gravedad y proporción armónica.
- Colaboración con las instituciones responsables.
- Diseño adecuado de postes.

- Empleo de brazos de soporte sujetos a los muros de fachada.
- Adaptación de la altura de las luminarias suspendidas a la altura de los árboles.

El nivel promedio de luminancia en la última sección, antes de entrar a la zona oscura, no debe ser mayor de 0,5 cd/m<sup>2</sup> ni menor de 0,15 cd/m<sup>2</sup> y mantener constantes hasta donde sea posible el espaciamiento y la altura de montaje de las luminarias, pero usar fuentes de luz de menor potencia, gradualmente, en las últimas secciones, para conseguir los niveles deseados de luminancia (CÓDIGO DE PRÁCTICA PARA ALUMBRADO PÚBLICO, 1987).

#### **4.2.10. Postes metálicos**

Estos postes pueden ser de acero o de aluminio, generalmente son más estéticos que los de hormigón y pueden tener forma cilíndrica o cónica. Se deben tomar precauciones para proteger estos postes contra la corrosión. Estas protecciones exigen, en particular, cuando se trata de postes de acero, un desoxidante antes de aplicar la capa de protección. Los postes de aluminio no requieren prácticamente ningún mantenimiento, pero deben protegerse para evitar su destrucción por electrólisis.

#### **4.2.11. Iluminación LED**

Es la iluminación más adaptable para cualquier ambiente, debido a su bajo voltaje de operación y su prolongada vida útil, permite optimizar el consumo de electricidad y tiene una amplia gama de uso decorativo, debido a su versatilidad de colores; posee una alta eficiencia y un abundante índice cromático. Las lámparas LED están conformadas por un conjunto de diodos, con componentes electrónicos semiconductores que transforman la energía eléctrica en energía lumínica (Lamas Tamayo, 2023).

Posee una vida útil de alrededor 50 000 horas, con una eficiencia lumínica de 130 a 150 lum/W; además emite poco calor, provocando un consumo del 90% menos de energía que las demás lámparas. Sin embargo, no pueden funcionar a temperaturas mayores de 65 °C, son más costosos y requiere que sus disipadores de calor sean contruidos con buenos elementos.

Las luminarias LED para alumbrado público objeto del CÓDIGO DE PRÁCTICA PARA ALUMBRADO PÚBLICO (1987) deben cumplir con los requisitos establecidos en las normas IEC 60598-1, IEC-60598-2-3, EN 55015 o CISPR 15, IEC 61547, IEC 61000-3-2 e IEC 61000-3-3 conjuntamente vigentes, o sus adopciones equivalentes u otras normas internacionales equivalentes vigentes. El color de la iluminación se describe en grados Kelvin, como se muestra en la Figura 4.





**Figura 4.** Tonalidades de color de la iluminación LED en grados Kelvin

#### 4.2.11.1. Tiras led

Las tiras de LEDs o LED strips son dispositivos de iluminación preensamblados, en donde, los LEDs y los componentes auxiliares se encuentran montados sobre un circuito impreso flexible que hace posible su adaptación a casi cualquier superficie. Una de sus caras cuenta con un material autoadhesivo 3M que permite instalar las tiras de forma fácil y rápida. No generan calor ni dañan las superficies donde son aplicadas, una de sus ventajas es su larga vida útil por lo que tienen un costo de mantenimiento muy bajo. Las dimensiones de las tiras más comunes son de 8 mm a 10 mm de ancho, 3 mm de alto y 5 metros de largo. Las tiras pueden ser cortadas cada 3 LEDs, según el modelo el corte será cada 5 cm o 10 cm y pueden unirse nuevamente simplemente conectando o soldando sus contactos de cobre, ubicados en los extremos de cada segmento (LEDVANCE, 2019).

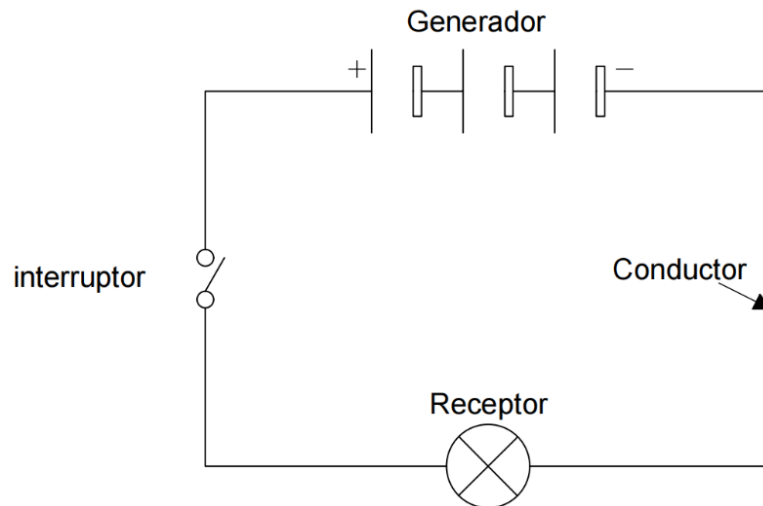
Las tiras más comunes están preparadas para ser alimentadas con una tensión de 12V CC y en el mercado también hay disponibles tiras de LEDs aptas para su conexión a 24V CC y 120 V CA. Dependiendo de la capacidad lumínica existen tiras LED de 9.6 W hasta 19.2 W, por metro.

### 4.3. Capítulo 3: Diseño eléctrico

#### 4.3.1. Conductor eléctrico

El conductor eléctrico, es de un material que posibilita la transmisión de electricidad, y ofrecen baja resistencia ante el flujo de carga eléctrica.

Los conductores se emplean en las instalaciones o circuitos eléctricos para unir el generador con el receptor, como se expone en la Figura 5. Por lo tanto, los conductores deben estar constituidos con materiales que permitan el paso de corriente eléctrica sin ofrecer dificultades considerables (Juárez Cervantes, 1995).



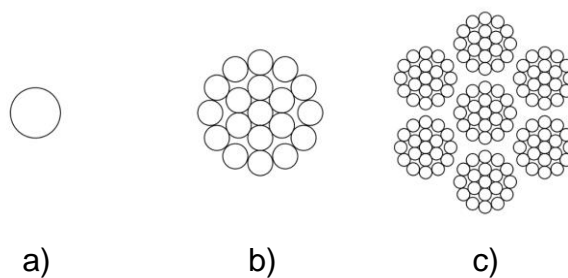
**Figura 5.** Conexión del receptor con el generador mediante conductores  
**Fuente:** (Juárez Cervantes, 1995).

#### 4.3.2. Flexibilidad

Acorde con los requerimientos de una instalación en particular, las normas de productos clasifican la flexibilidad de los conductores en clases de cableado, combinando diferentes diámetros de alambres y el número de estos (Condumex, 2009).

- a) Alambres- Conductores sólidos.
- b) Cables (AA, A, B o C)- Conductores cableados concéntricos (con o sin compactación).
- c) Cordones (I, J, K)- Conductores flexibles (Aumenta la flexibilidad con el número de hilos).

En la Figura 6 se muestra al alambre, cables y a los cordones.



**Figura 6.** Tipos de cableado. a) Alambre, b) Cable, c) Cordón  
**Fuente:** (Condumex, 2009)

#### 4.3.3. Conductores comerciales

En la actualidad se puede afirmar que existe en el mercado un conductor adecuado para cada tipo de instalación.

Las secciones normalizadas para los conductores empleados en las instalaciones eléctricas son las que se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Calibre de conductores y sección de cada uno.

<b>AMPERAJE – CABLE DE COBRE</b>				
<b>Tipo de aislante</b>	TW	RHW, THW, THWN,	THHN, XHHW- 2 THWN-2	Sección mm <sup>2</sup>
<b>Nivel de temperatura</b>	60°C	75°C	90°C	
<b>14 AWG</b>	15 A	15 A	15 A	2,082
<b>12 AWG</b>	20 A	20 A	20 A	3,307
<b>10 AWG</b>	30 A	30 A	30 A	5,260
<b>8 AWG</b>	40 A	50 A	55 A	8,367
<b>6 AWG</b>	55 A	65 A	75 A	13,300
<b>4 AWG</b>	70 A	85 A	95 A	21,150
<b>3 AWG</b>	85 A	100 A	115 A	-----
<b>2 AWG</b>	95 A	115 A	130 A	33,620
<b>1 AWG</b>	110 A	130 A	145 A	-----
<b>1/0 AWG</b>	125 A	150 A	170 A	53,48
<b>2/0 AWG</b>	145 A	175 A	195 A	67,42
<b>3/0 AWG</b>	165 A	200 A	225 A	85,010
<b>4/0 AWG</b>	195 A	230 A	260 A	107,20

Fuente: (Conдумex, 2009)

#### 4.3.4. *Intensidad de corriente*

La potencia eléctrica es el resultado del producto de la tensión por la corriente, y viene expresada por la Ecuación 10.

$$P = V * I \quad \text{Ecuación 10.}$$

Donde:

P = Potencia

V = Voltaje

I = Intensidad

#### 4.3.5. *Caída de tensión*

Un factor a tener en cuenta al realizar una instalación eléctrica es la caída de tensión la cual viene expresada por la Ecuación 11. La caída de tensión debe ser menor o igual al 3%.

$$\Delta V = \frac{2 * \rho * L * I * \cos\phi}{s} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

$\Delta V$  = Caída de tensión

$\rho$  = Resistividad

L = Longitud

I = Intensidad de corriente

s = Sección transversal del conductor

$\cos\varphi$  = Factor de potencia

El porcentaje de caída de tensión se la expresa mediante la Ecuación 12.

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V} * 100$$

Ecuación 12.

#### **4.3.6. Sistemas de protección en instalaciones eléctricas.**

Las instalaciones eléctricas deben ser protegidas de sobrecargas que se pueden producir por diferentes causas como pueden ser: corto circuito, aterrizaje de puesta a tierra inadecuado, falso contacto, etc. Para estos casos se emplea equipos de protección para la instalación como:

- Fusibles
- Breaker
- Diferencial

Para una correcta selección de los sistemas de protección eléctrica se toma en cuenta los siguientes parámetros.

- **Sensibilidad:** Para operar en rangos de fallas máximas como mínimas.
- **Selectividad:** Seleccionar únicamente la falla del equipo dañado.
- **Velocidad de respuesta:** Debe actuar con la mayor rapidez posible.
- **Seguridad:** Tanto en cortocircuito como en sobrecarga.
- **Economía:** Mejor protección a un bajo costo.

#### **4.3.7. Fusible**

En términos sencillos, un fusible es un dispositivo de protección contra sobrecorriente con una parte fundible para abrir un circuito, la cual es calentada y cortada por el paso de sobrecorriente a través de él (BUSSMAN, 2019).

En la Figura 7, se muestra como está constituido un fusible para redes de baja tensión.



**Figura 7:** Fusible de doble elemento  
**Fuente:** (BUSSMAN, 2019)

El fusible actúa como una válvula de seguridad de electricidad, al ser una parte frágil en la trayectoria del circuito, que abrirá el circuito para eliminar o reducir al mínimo cualquier daño que pueda ser producido por un flujo excesivo de corriente.

#### **4.3.8. Breaker.**

Estos interruptores brindan protección ante eventos de sobrecarga y cortocircuitos, también se los conoce como interruptores termomagnéticos o pastillas, se los instala en los centros de carga y en tableros de alumbrado. Existen versiones 1, 2 y 3 polos, capacidades de 10 hasta 125 A, también existen versiones especiales, tales como la protección contra falla a tierra y la protección contra transitorios, entre otros (Harper, 2003). En la Figura 8, se muestra un breaker para redes de baja tensión.



**Figura 8.** Breaker o interruptor termomagnético.

#### **4.3.9. Aplicaciones y beneficios del breaker.**

Permite la protección para las instalaciones eléctricas, cumpliendo con las normas de calidad.

- Uso residencial
- Uso comercial
- Uso industrial
- Infraestructura
- Fabricantes de equipo original

#### 4.3.10. Cálculo de las protecciones eléctricas

Para el cálculo de la protección eléctrica por cortocircuito de la iluminación, se aplica la Ecuación 13.

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{Ecuación 13.}$$

Para tener la intensidad total que se necesita para la protección por cortocircuito se multiplica por un factor de seguridad  $F_s$ , el cual es un 25% más de la intensidad calculada, de acuerdo a lo expuesto en la Ecuación 14 (Tenempaguay Cabadiana, A. E., 2022).

$$I_t = I * F_s \quad \text{Ecuación 14.}$$

Donde:

$I_t$  = Intensidad total

$I$  = Intensidad

$F_s$  = Factor de seguridad

#### 4.4. Capítulo 4: Diseño mecánico

##### 4.4.1. Compresión axial - columnas

Una columna puede fallar por pandeo más que por compresión. El pandeo ocurre súbitamente, incluso en materiales dúctiles; y como tal es uno de los módulos de falla más peligroso. Para ello es importante conocer la tensión axial que puede sufrir un cuerpo, ya que es uno de los tipos más sencillos de carga que se puede aplicar a un elemento, para su cálculo en secciones circulares de acuerdo a (Norton, 2009) se puede aplicar el método de círculos de Mohr, en donde, el cambio de longitud  $\Delta s$  de un miembro de sección transversal uniforme cargado a tensión axial pura está dado por la Ecuación 15:

$$\Delta s = \frac{Pl}{AE} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Donde:

$P$  = Es la fuerza aplicada (N).

$A$  = Es el área de la sección transversal ( $m^2$ ).

$l$  = Longitud cargada (m).

$E$  = Módulo de Young del material.

#### 4.4.1.1. Área y momento de inercia

Considerando una tubería como una pieza hueca que por lo general es cilíndrica y abierta por ambos extremos; están formado por diferentes materiales para garantizar su resistencia a la corrosión y esfuerzos mecánicos. Para calcular el área de la sección transversal un tubo cilíndrico se puede hacer uso de la Ecuación 16 y para determinar el momento de inercia del área se aplica la Ecuación 17.

$$A = \frac{\pi(d_o^2 - d_i^2)}{4} \quad \text{Ecuación 16.}$$

Donde:

A= Es el área de la sección transversal (m<sup>2</sup>).

d<sub>o</sub> = Diámetro exterior (m).

d<sub>i</sub> = Diámetro interior (m).

Para el cálculo del momento de inercia se hace uso de la Ecuación 17 (Norton, 2009):

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{64} \quad \text{Ecuación 17.}$$

Donde:

I= Momento de inercia (m<sup>4</sup>).

d<sub>o</sub> = Diámetro exterior (m).

d<sub>i</sub> = Diámetro interior (m).

De acuerdo a la ASME B36.10M y B36.19M, las tuberías se encuentran clasificadas en por cédula para sus diferentes dimensiones; en donde estos tubos pueden ser sin costuras o soldados, y aplicados en altas o bajas temperaturas y presiones. En la ASME B36.10M, las cédulas (Schedule) de los tubos se identifican por medio del estándar (STD, Extra Fuerte (XS), Doble Extra Fuerte (XSS), o por medio de los números de cédula (SCH) 5, 10, 20, 30, 40, 80, 120, 160 (OCTAL, 2018).

#### 4.4.1.2. Razón de esbeltez

Cuando la carga axial aplicada exceda algún valor crítico, una columna intermedia o larga, falla por pandeo. En el momento del pandeo, el esfuerzo a compresión puede aún estar muy por debajo del límite de fluencia elástico del material.

El factor para determinar si una columna es corta o larga es su razón de esbeltez el cuál se lo puede calcular mediante la Ecuación 18 (Norton, 2009).

$$S_r = \frac{l}{k} \quad \text{Ecuación 18.}$$

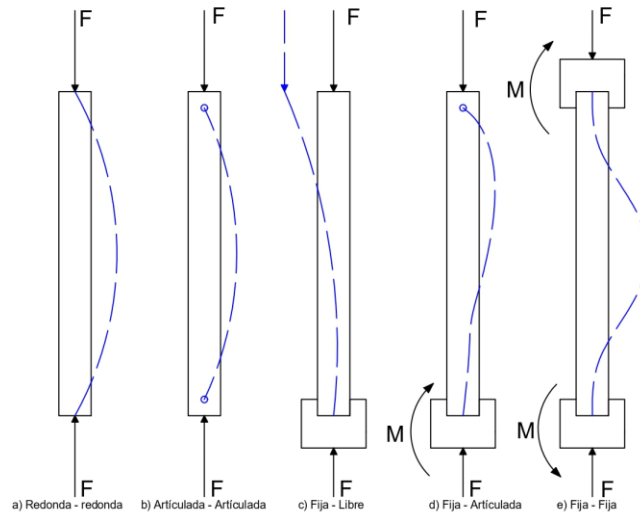
Donde:

$S_r$  = Razón de esbeltez.

$k$  = Radio de giro.

$l$  = Longitud de la columna.

En donde, de acuerdo al factor de la longitud efectiva, según la condición terminal que se observa en la Figura 9 y se detallan en la Tabla 5, infieren en la razón de esbeltez como se muestra en la Ecuación 19.



**Figura 9.** Diversas condiciones de columna y sus curvas de deflexión resultantes  
**Fuente:** (Norton, 2009)

**Tabla 5.** Factores de longitud efectiva, según la condición terminal de la columna

Condiciones terminales	Valor teórico	Recomendado por AISC*	Valor conservador
Redonda – redonda	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$
Articulada – articulada	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$	$l_{eff} = l$
Fija - libre	$l_{eff} = 2l$	$l_{eff} = 2,41l$	$l_{eff} = 2,41l$
Fija – articulada	$l_{eff} = 0,707l$	$l_{eff} = 0,80l$	$l_{eff} = l$
Fija – fija	$l_{eff} = 0,5l$	$l_{eff} = 0,65l$	$l_{eff} = l$

**Fuente:** (Norton, 2009)

$$S_r = \frac{l_{eff}}{k} \quad \text{Ecuación 19.}$$

Donde:



$l_{eff}$  = Longitud efectiva de la columna.

El radio de giro se define con la Ecuación 20, el cual se define por el segundo momento de inercia de la sección transversal de la columna y el área de la misma sección transversal.

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ecuación 20.}$$

Donde:

$k$  = Radio de giro (m).

$I$  = Momento de inercia ( $m^4$ ).

$A$  = Área de la sección transversal ( $m^2$ ).

#### 4.4.1.3. Columna larga

Por lo general, una columna larga se define como aquella cuya razón de esbeltez es ligeramente mayor a 10. Requiere el cálculo de su carga crítica, en la cual actúan fuerzas en ambos extremos a compresión, haciendo que el centroide se desplace fuera de la coa lineación de las fuerzas aplicadas en sus extremos. Este desplazamiento del centroide crea un brazo de momento para que actúe la fuerza, colocando al miembro a flexión como a compresión. Para conocer la carga crítica unitaria que puede soportar una columna con una sección transversal definida, se aplica la Ecuación 21 (Norton, 2009).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{4 * S_r^2} \quad \text{Ecuación 21.}$$

Donde:

$A$  = Área de la sección transversal ( $m^2$ ).

$P_{cr}$  = Capacidad de carga unitaria crítica (N).

$A$  = Es el área de la sección transversal ( $m^2$ ).

$S_r$  = Razón de esbeltez (m).

$E$  = Módulo de Young del material

La Ecuación 21 se la conoce como ecuación de Euler, en donde advierte que la carga crítica está en función únicamente de la geometría de la sección transversal de la

columna, la resistencia del material no es un factor influyente. Sin embargo, Johnson (Norton, 2009) propone adaptar una curva de resistencia a la dada por Euler con la finalidad de excluir la falla empírica, en donde se toma como factor la resistencia del material. Estos modelos proporcionan un método de cálculo razonable para las columnas de carga concéntrica, se debe tomar en cuenta que la razón de esbeltez es  $\leq (S_r)_D$  para aplicar la Ecuación 23, considerando que  $(S_r)_D$  se obtiene aplicando la Ecuación 22 (Norton, 2009).

$$(S_r)_D = \pi \sqrt{\frac{2E}{S_y}} \quad \text{Ecuación 22.}$$

Donde:

$S_y$  = Resistencia a la fluencia del material.

$E$  = Módulo de Young del material.

La ecuación ajustada entre dos puntos es:

$$P_{cr} = A \left[ S_y - \frac{1}{E} \left( \frac{S_y S_r}{2\pi} \right)^2 \right] \quad \text{Ecuación 23.}$$

Donde:

$A$  = Área de la sección transversal ( $m^2$ ).

$P_{cr}$  = Capacidad de carga unitaria crítica (N).

$S_r$  = Razón de esbeltez (m).

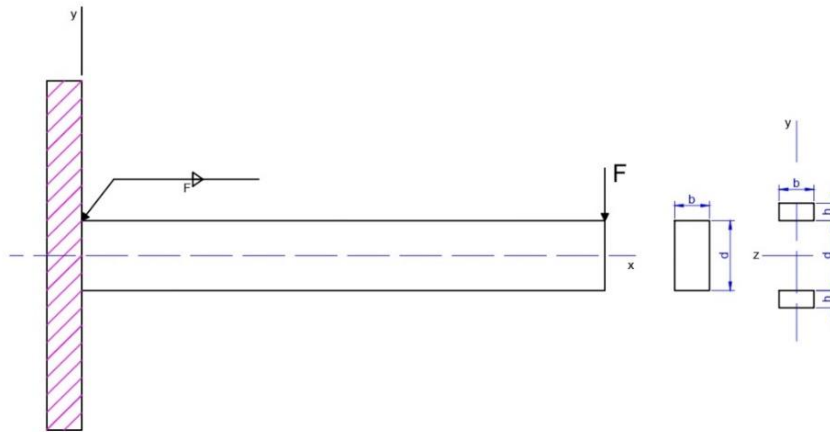
$E$  = Módulo de Young del material

#### **4.4.2. Cálculo de soldadura**

La soldadura es una unión permanente de bajo costo, en donde un grupo de metales tienen cortes con configuraciones particulares. Durante la soldadura, las diversas partes se mantienen en contacto con firmeza, a menudo mediante abrazaderas o sujetadores; como en la operación de soldadura se emplea calor, se experimentan cambios metalúrgicos en el metal de base, cerca de la soldadura. Asimismo, se introducen esfuerzos residuales a causa de la sujeción o unión de las piezas o, algunas veces, debido al orden de la soldadura. Por lo general, estos esfuerzos residuales no son tan severos como para causar problemas; en algunos casos se ha determinado que un tratamiento térmico ligero, después de la soldadura, es útil para liberarlos (Budynas & Nisbett, 2008).

#### 4.4.2.1. Soldadura a tope o de filete

En la Figura 10 hay un voladizo soldado a un soporte mediante soldaduras de filete en la parte superior y en la inferior. Un diagrama de cuerpo libre de la viga mostraría una reacción de fuerza cortante V y una reacción de momento M.



**Figura 10.** Perspectiva de un elemento soldado y sometido a un momento  
**Fuente:** (Budynas & Nisbett, 2008).

La fuerza cortante produce un cortante primario en las soldaduras de magnitud, expresada mediante la Ecuación 24.

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 24.}$$

Donde:

A = Área total de la garganta (m<sup>2</sup>).

V = Fuerza cortante (N).

El área de la garganta de la Figura 11, se expresa por la Ecuación 25.

$$A = 1,414\pi hr \quad \text{Ecuación 25.}$$

Donde:

h = Altura de la garganta (m<sup>2</sup>).

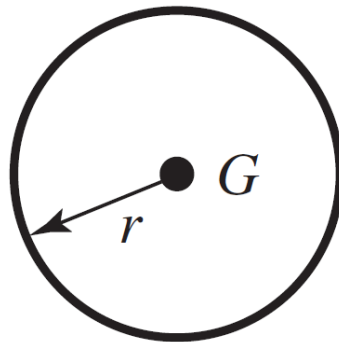
r = radio de la soldadura (N).

Para determinar cómo el momento de inercia induce un componente de esfuerzo cortante horizontal en las soldaduras, se debe calcular el momento del área unitaria, el cual está dado por la Ecuación 26, de acuerdo a la Figura 11.

$$I_u = \pi * r^3 \quad \text{Ecuación 26.}$$

Donde:

$r$  = Radio de la garganta (m).



**Figura 11.** Garganta de la soldadura

El segundo momento del área  $I$ , con base en el área de la garganta de la soldadura, se expresa por la Ecuación 27.

$$I = 1,414 * \pi^2 h * r^3 \quad \text{Ecuación 27.}$$

Donde:

$r$  = Radio de la garganta (m).

$h$  = Altura del cordón de la soldadura (m).

El esfuerzo cortante nominal en la garganta circular se la determina a través de la Ecuación 28.

$$\tau'' = \frac{M * r}{I} \quad \text{Ecuación 28.}$$

Donde:

$M$  = Es el momento flector al que está sometida la soldadura (Nm).

$I$  = Área de la garganta de la soldadura ( $m^2$ ).

$r$  = Distancia desde el centroide del grupo de soldaduras hasta el punto en la soldadura de interés (m).

A continuación, se combina vectorialmente la fuerza cortante vertical de la Ecuación 24 y la fuerza cortante horizontal de la Ecuación 28 para dar como resultado el esfuerzo máximo a soportar por la soldadura mediante la Ecuación 29 (Budynas & Nisbett, 2008).

$$\tau = ((\tau')^2 + (\tau'')^2)^{1/2}$$

Ecuación 29.

El esfuerzo obtenido no debe superar al permisible por cada tipo de electrodo, en donde, la resistencia a la fluencia de la soldadura se la puede ver en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Propiedades mínimas del metal de aporte

Número de electrodos AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (Mpa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (Mpa)	Elongación porcentual
<b>E60XX</b>	60 (427)	50 (345)	17 - 25
<b>E70XX</b>	70 (482)	57 (393)	22
<b>E80XX</b>	80 (551)	67 (467)	19
<b>E90XX</b>	90 (620)	77 (531)	14 - 17
<b>E100XX</b>	100 (689)	87 (600)	13 – 16
<b>E120XX</b>	120 (827)	107 (737)	14

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008).

En donde dependiendo del tipo de carga, el esfuerzo permisible cambia como se puede observar en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Esfuerzos permisibles del código AISC para el metal de aporte.

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
<b>Tensión</b>	A tope	0.60S <sub>y</sub>	1.67
<b>Aplastamiento</b>	A tope	0.90S <sub>y</sub>	1.11
<b>Flexión</b>	A tope	0.60-0.66S <sub>y</sub>	1.52-1.57
<b>Compresión simple</b>	A tope	0.60S <sub>y</sub>	1.67
<b>Cortante</b>	A tope o de filete	0.30S <sub>ut</sub> <sup>+</sup>	

\* El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de la distorsión.

<sup>+</sup> El esfuerzo cortante en el metal base no debe excederse de 0.40S<sub>y</sub> del metal base.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008).

Por recomendación de Budynas & Nisbett (2008), el tamaño mínimo de soldadura por filete, de acuerdo al espesor de la pared más delgada de la unión es la que se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Tamaño de la soldadura.

Espesor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura h, pulg
* Hasta 1/4 inclusive	1/8
Mayor que 1/4 hasta 1/2	3/16
Mayor que 1/2 hasta 3/4	1/4
Mayor que 3/4 hasta 1 1/2	5/16
Mayor que 1 1/2 hasta 2 1/2	3/8
Mayor que 2 1/4 hasta 6	1/2
Mayor que 6	5/8

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008).

#### 4.4.3. Vigas a flexión

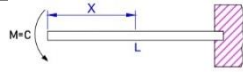
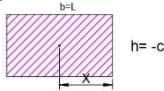
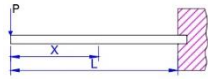
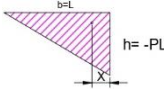
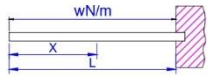
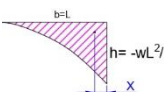
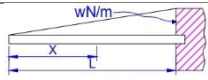
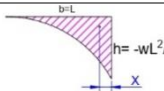
Una viga es un elemento común en estructuras, que soporta algunas combinaciones de esfuerzos normales y cortantes, distribuidos a través de la sección transversal. En la vida real la mayor parte de las vigas están sujetas a cargas cortantes en combinación con otras de flexión y el momento flexionante.

Los diagramas de cortantes y momentos flexionantes nos ayudan a identificar en qué posición de la viga entre dos puntos tiene este tipo de falla. La ausencia de fuerzas cortantes la convierte en flexión pura. La magnitud del esfuerzo de flexión es igual a cero en el eje neutro y linealmente proporcional a la distancia y a partir del eje neutro, esta relación queda expresada por la Ecuación 28 de esfuerzos de flexión.

##### 4.4.3.1. Método de secciones

Es un método muy útil y sencillo para determinar la pendiente y deflexión en las vigas; cuyo cálculo se basa principalmente en las áreas que forman los diferentes tipos de carga a las que está sometido la viga; para una mejor simplificación del cálculo y obtener los diagramas de momentos se puede hacer uso de la Tabla 9 (Singer, 2008).

**Tabla 9.** Cargas en vigas en voladizo o ménsulas.

Tipo de carga	Voladizo cargado	Distribución (momento en una sección x)	Grado de la ecuación de momento	Diagrama de momentos	Área	$\bar{x}$
Par		$M = -C$	Cero ( $M=0x^0$ )		bh	$\frac{1}{2}b$
Concentrada		$M = -Px$	$1^0$		bh	$\frac{1}{3}b$
Uniformemente distribuida		$M = -\left(\frac{W}{2}\right)x^2$	$2^0$		$\frac{1}{2}bh$	$\frac{1}{4}b$
Uniformemente variada		$M = -\left(\frac{W}{6L}\right)x^3$	$3^0$		$\frac{1}{4}bh$	$\frac{1}{5}b$

Fuente: (Singer, 2008).

#### 4.4.4. Uniones móviles o pernos

Uno de los objetivos clave del diseño actual de la manufactura es reducir el número de sujetadores. Sin embargo, siempre habrá necesidad de ellos para facilitar el desensamble para propósitos diversos. La terminología de la rosca de acuerdo a la Figura 12 es el siguiente (Budynas & Nisbett, 2008):

- Paso ( $p$ ): Distancia entre dos cuerdas adyacentes, medida en forma paralela al eje de la rosca.
- Diámetro mayor ( $d$ ): Diámetro más grande de la rosca del tornillo.
- Diámetro menor ( $d_r$ ): Diámetro más pequeño de la rosca de tornillo.
- Diámetro de paso ( $d_p$ ): Diámetro teórico entre los diámetros mayor y menor.
- Avance ( $l$ ): Distancia que se desplaza una tuerca en forma paralela al eje del tornillo cuando a éste se le da una vuelta.

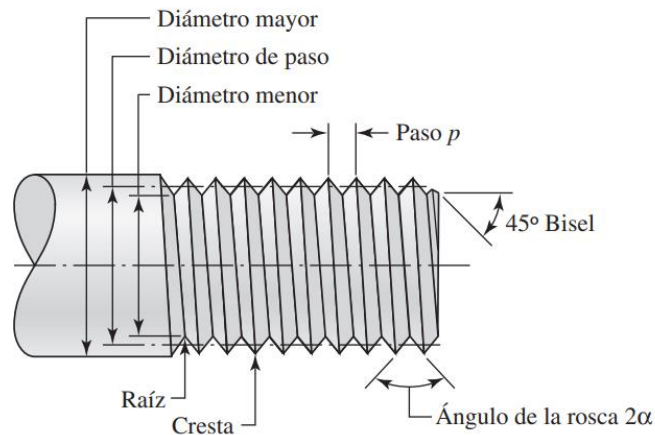


Figura 12. Terminología de roscas de tornillo.

##### 4.4.4.1. Cálculo de la carga por viento

La acción del viento en las construcciones es de gran interés debido al movimiento que se generan, por las fuerzas que se ejercen de energía cinética de una masa de aire en movimiento. La presión del viento es un valor mínimo que resulta de la velocidad crítica del viento, por lo tanto, es una carga variable de tipo natural, se expresa por la Ecuación 30 (Santiuste, 2018).

$$q_e = q_b * A * C_d \quad \text{Ecuación 30.}$$

Donde:

$q_b$ : Presión dinámica del viento ( $\text{kN/m}^2$ )

$A$ : Área proyectada ( $\text{m}^2$ )

$C_d$ : Coeficiente de arrastre (para cilindro largo 1.2).

La presión dinámica del viento se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$q_b = 0.5 * \delta * V^2 \quad \text{Ecuación 31.}$$

Donde:

$\delta$ : Densidad del aire (1.25 kg/m<sup>3</sup>).

V: Velocidad del viento (m/s).

#### 4.4.4.2. Momento flector

Es la acción física producido por el producto de una distancia y una fuerza, definido con respecto a un punto de referencia; el momento dado por la carga del viento se lo expresa por la Ecuación 32.

$$M = q_e * d \quad \text{Ecuación 32.}$$

Donde:

d: Distancia desde el punto de referencia (m).

#### 4.4.4.3. Cálculo del número de pernos

En la sujeción de dos elementos mediante un perno, se debe considerar que sucede cuando se aplica una carga externa, para ello se debe identificar la información relacionada con los valores relativos de la rigidez entre los elementos mediante la Ecuación 33 (Budynas & Nisbett, 2008).

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_d * l_d} \quad \text{Ecuación 33.}$$

Donde:

$A_t$ : Área de esfuerzo sometida a tensión (Anexo 3, Tabla 21).

$l_t$ : Longitud de la parte roscada de agarre (mm).

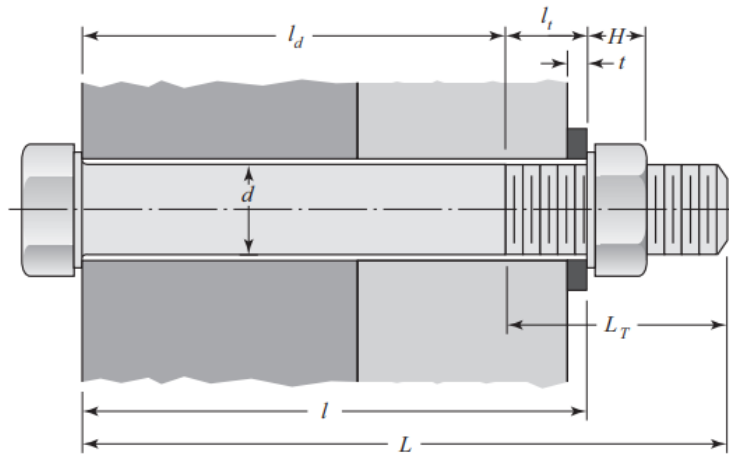
$A_d$ : Área del diámetro mayor del sujetador (mm).

$l_d$ : Longitud de la parte sin rosca en agarre (mm).

E: Módulo de elasticidad (207 GPa, para el acero).

Las dimensiones de una unión por sujeción es la que se muestra en la Figura 13, en donde se detallan las dimensiones a considerar.





**Figura 13.** Rigidez del sujetador

- Cálculo de la longitud del sujetador a través de la Ecuación 34.

$$L > l + H$$

Ecuación 34.

Donde:

l: Espesor de todo el material apretado entre la cara del perno y la cara de la tuerca (m).

H: Espesor de la tuerca Tabla 22.

- Para calcular la longitud roscada se debe hacer uso de la Ecuación 36

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6\text{mm}, & L \leq 125\text{mm}, d \leq 48\text{mm} \\ 2d + 12\text{mm}, & 125 < L \leq 200\text{mm} \\ 2d + 25\text{mm} & L > 200\text{mm} \end{cases} \quad \text{Ecuación 35.}$$

- Para calcular la longitud de la parte sin rosca en el agarre, se hace uso de la Ecuación 36.

$$l_d = L - L_T \quad \text{Ecuación 36.}$$

- Para calcular la longitud de la parte rosca en el agarre, se hace uso de la Ecuación 37.

$$l_t = l_d - l \quad \text{Ecuación 37.}$$

- Para calcular el área de la parte rosca, se hace uso de la Ecuación 38.

$$A_d = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{Ecuación 38.}$$

Donde:

d: Diámetro del sujetador (m).

Es importante conocer la rigidez del material que se encuentra en la zona de sujeción, dado que actúan como un resorte de compresión en serie, para calcular este factor de rigidez se hace uso con la Ecuación 39.

$$k_m = \frac{0.5774\pi Ed}{2 \ln \left( 5 * \frac{0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d} \right)} \quad \text{Ecuación 39.}$$

Donde:

E: módulo de elasticidad de los materiales que están en la zona de sujeción.

- Para calcular la fracción de carga soportada por el perno, se aplica la Ecuación 40.

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad \text{Ecuación 40.}$$

Para calcular la precarga ( $F_i$ ) se puede tomar en cuenta la recomendación de Budynas y Nisbett (2008); en donde, para conexiones no permanentes se debe multiplicar el factor de pérdidas ( $F_p$ ) por 0.75, al cual se lo obtiene con la Ecuación 41.

$$F_p = A_t * S_p \text{ (kpi)} \quad \text{Ecuación 41.}$$

Donde:

$A_t$ : Área de esfuerzo sometida a tensión (Anexo 3, Tabla 21).

$S_p$ : Resistencia (Anexo 3, Tabla 23).

Finalmente, para calcular el número de pernos que soporten la sujeción sometida a esa carga se debe aplicar la Ecuación 42.

$$N = \frac{C * n_L * P}{A_t * S_p - F_i} \quad \text{Ecuación 42.}$$

Donde.

P: Carga externa de extensión (N).

$n_L$ : Factor de seguridad, por recomendación de (Budynas & Nisbett, 2008) es 2.

$F_i$ : Pérdidas de la unión, según (Budynas & Nisbett, 2008) es 0.75N.

#### **4.4.5. Resistencia del material al corte**

La resistencia está definida como la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla por los esfuerzos y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de éste, se calcula mediante la Ecuación 43.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 43.}$$

### **4.5. Capítulo 5: Análisis económico**

#### **4.5.1. Costos de producción**

Los costos de los recursos que utilizan o invierten en la producción de un bien o servicio están constituidos por consumos de materias primas y/o materiales y otros insumos, trabajos de personas, usos de instalaciones, maquinaria y/o activos tecnológicos (con diversos grados de automatización o mecanización), cuotas de depreciaciones, amortizaciones y todos aquellos cargos en que incurren directa e indirectamente a partir del momento en que los materiales o materias primas entran a los procesos de transformación o manufactura hasta que los bienes materiales salen del último de esos procesos en sus respectivas presentaciones y listos para su venta, uso o consumo (Ramírez Molinares et al., 2010).

##### **4.5.1.1. Costos de materia prima**

La materia prima son los elementos utilizados en la fabricación o producción de bienes, que son sometidos a varios procesos de transformación para dar origen a un producto totalmente diferente. Los materiales directos se identifican con el producto final ya que sus propiedades básicas se asemejan con el producto objeto de fabricación.

##### **4.5.1.2. Mano de obra**

Es la mano de obra directa reflejada en el sueldo de los trabajadores, por el tiempo en que éstos estén vinculados a las labores propias de transformación o modificación de las materias primas, a través de un proceso de producción específico. La mano de obra que no esté involucrada directamente con estos procesos es conocida como mano de obra indirecta, sin embargo, no hay que generar confusión con los gastos por concepto de pago de remuneración administrativa, ya que es una designación diferente (Ramírez Molinares et al., 2010).

##### **4.5.1.3. Costos indirectos**

Mejor conocidos como gastos generales de fabricación o mano factura, incluyen una variedad de conceptos, cuya importante e imprescindible contribución en la valoración de los productos está altamente influenciada por factores como el tamaño de

la infraestructura utilizada en la producción, por su organización operativa, funcional y grado de mecanización y/o automatización de la planta industrial. Se presentan por la variedad de recursos que participan o concurren en los procesos y etapas de producción, entre los cuales se encuentran los consumos de suministros, servicios básicos, consultorías, optimización de planta y todos aquellos que no se puedan identificar de manera precisa

#### **4.5.2. Periodo de retorno de inversión**

Es un criterio muy usual al momento de evaluar un proyecto y tiene por objetivo medir en cuánto tiempo se recupera la inversión, incluyendo el costo de capital involucrado; esto hace que se pueda medir la rentabilidad en términos de tiempo y se interpreta como el tiempo necesario para que el proyecto recupere el capital invertido. Para su cálculo se puede dividir la inversión inicial entre los ingresos promedios de caja obtenidos en la vida útil del proyecto, tal y como se muestra en la Ecuación 44. (Viñán Villagrán et al., 2018).

$$PR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ingresos promedios (Ahorro)}} \quad \text{Ecuación 44.}$$

## 5. Metodología

### 5.1. Recursos y Materiales

#### 5.1.1. Recursos Técnicos

- Computadora e internet
- Material de oficina.

#### 5.1.2. Recursos Bibliográficos

- Libros: Electricidad, Redes de distribución y Estadística.
- Normativas vigentes para redes de distribución de media y baja tensión.
- Artículos de revistas científicas.
- Literatura técnica
- Libros de diseño mecánico.

### 5.2. Métodos

Para el desarrollo de la presente investigación se siguió la metodología descrita en la Figura 14.

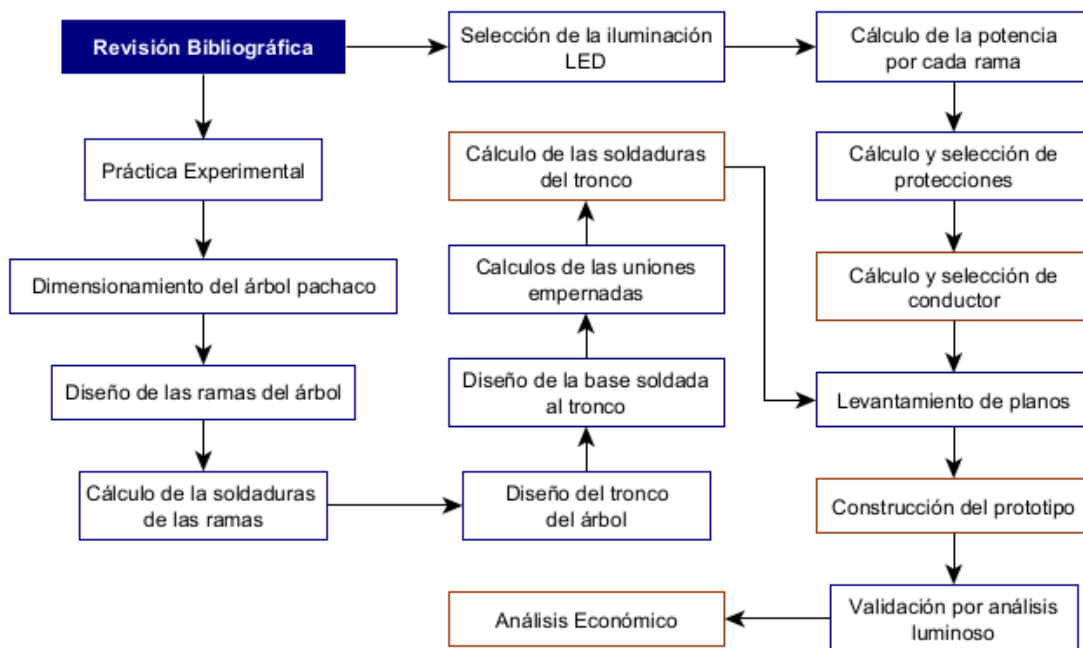


Figura 14. Flujograma del desarrollo del proyecto de investigación

#### 5.2.1. Revisión Bibliográfica

Se identifica mediante información técnica, las características principales del árbol de schizolobium parahybum (pachaco). Además, se describe las conceptualizaciones simétricas y eléctricas para garantizar el correcto funcionamiento del prototipo, tanto para las ramas, como para el tronco y la base de anclaje.

### **5.2.2. Aplicación de una práctica experimental**

Mediante la aplicación de una práctica experimental, se describirá las principales dimensiones del árbol de *schizolobium parahybum* (pachaco), así como el número de ramas, las dimensiones y su ángulo de inclinación; con la finalidad de obtener los parámetros iniciales de diseño del prototipo iluminado. Para este proceso se utiliza el equipo Stanley TLM300, obteniendo las medidas de 10 árboles de pachaco ubicados en la zona de Yantzaza, Zamora Chinchipe.

### **5.2.3. Diseño eléctrico**

#### **5.2.3.1. Selección del canal para las luces LED**

Se selecciona un perfil de luces LED para empotrar, que permita cumplir con el diseño deseado. Este perfil, debe garantizar una buena protección de la fuente de iluminación, facilidad de mantenimiento, facilidad de desmontaje y una buena sujeción con la tubería.

#### **5.2.3.2. Selección de luces LED**

Una vez definido el canal en donde se ubicarán las luces LED, se selecciona el color de las mismas, la potencia y el nivel de tensión que manejará este tipo de iluminación. Para ello se considerará colores fríos con la finalidad de que la iluminación entre en armonía con el ambiente y que los mismos sean accesibles en el mercado.

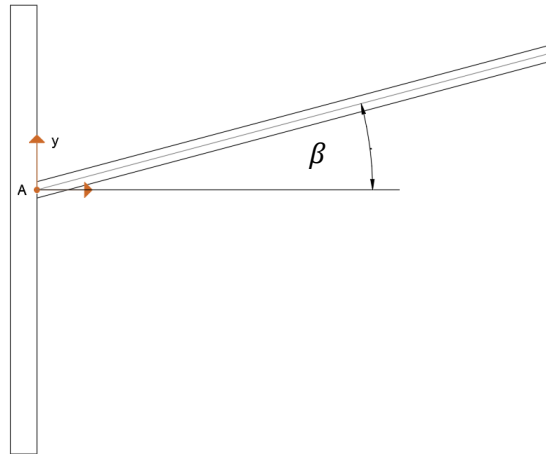
#### **5.2.3.3. Cálculo de protección y caída de tensión**

Con la iluminación LED seleccionada, se identifica la potencia consumida por el árbol; con esta información se procede a dimensionar la protección del dispositivo y se asegura que la caída de tensión en los conductores no supere lo exigido por la normativa.

### **5.2.4. Diseño mecánico**

#### **5.2.4.1. Dimensionamiento de las ramas**

Con las dimensiones promedio obtenidas en la práctica experimental, se procede a dimensionar las ramificaciones del árbol de pachaco, para ello se obtiene el ángulo de crecimiento de las ramas con respecto a la horizontal y el ancho promedio de la copa, como se puede observar en la Figura 15; del cual se deduce la Ecuación 45.



**Figura 15.** Longitud de la rama

$$l_r = \frac{\frac{\text{ancho de la copa}}{2}}{\cos(\beta)}$$

Ecuación 45.

Donde:

$l_r$ : Longitud de la rama (m).

Ancho de la copa (m).

Por otro lado, mediante el uso de la Ecuación 28 se determina el esfuerzo flexionante de la rama y se verifica que este no supere al admisible del material.

#### 5.2.4.2. Diseño mecánico del tronco

Al realizar el análisis del esfuerzo flexionante de la rama más grande, se procede a realizar la suma del peso de todas las ramas para determinar la carga que va a soportar el tronco. Para ello se determina la razón de esbeltez para una columna fija-libre, se verifica que este factor sea  $\leq (S_r)_D$  y dado el caso se aplica la Ecuación 23 para calcular la carga crítica a soportar por parte de la columna cilíndrica. Finalmente se verifica que el peso total de todas las ramas no supere la carga máxima a soportar por la columna.

#### 5.2.4.3. Resistencia de las soldaduras

Todas las piezas unidas al tronco principal, se encuentran unidas mediante soldadura. Para el cálculo de la resistencia, se selecciona la soldadura de tipo filete y se calcula el área de la garganta de soldadura; seguidamente se realiza el cálculo del esfuerzo cortante y la del segundo momento flector, originando dos vectores que al ser sumados se obtiene el esfuerzo máximo a ser soportado por la soldadura. Para determinar el esfuerzo máximo que soporta la soldadura, se hace uso de la Tabla 6, y la Tabla 7 para el esfuerzo permisible de acuerdo a las condiciones que estará expuesta la soldadura.

#### 5.2.4.4. Diseño mecánico de la base

Se selecciona el material apropiado para la base, considerando el espesor del material, la soldadura que unirá la base con el tronco y el tipo de uniones no permanentes unen al prototipo con el anclaje en donde será ubicado. Para dimensionar los pernos que unirán el árbol al anclaje, primeramente, se establece un número y tipo de pernos a utilizar, seguidamente se procede a validar que el número de pernos seleccionado soporten el esfuerzo máximo deseado de la carga del viento. Con la misma carga se verifica que la placa seleccionada, soporte el esfuerzo a la rotura. Finalmente se calcula que la soldadura soporte el esfuerzo deseado, considerando las dimensiones de la tubería.

#### 5.2.5. Construcción del prototipo

Una vez verificado a través de la memoria técnica de cálculo, el adecuado diseño del prototipo; se procede con la construcción del mismo, considerando los insumos, materiales y equipo a utilizar.

#### 5.2.6. Validación por análisis lumínico

Con la ayuda del Luxómetro Uni-t Ut383 Ecuaplus se procede a realizar la fotometría de la zona de cobertura del prototipo implementado en los diferentes puntos dados que se muestra en la Figura 16; para ello el instrumento utilizado proporciona la intensidad luminosa para un ángulo  $\alpha$  y se lo calcula a través del método de punto por punto con la Ecuación 8 y Ecuación 9, con la finalidad de verificar que la cantidad de lúmenes recibidos en la superficie cumpla con la normativa RTE INEN 069.

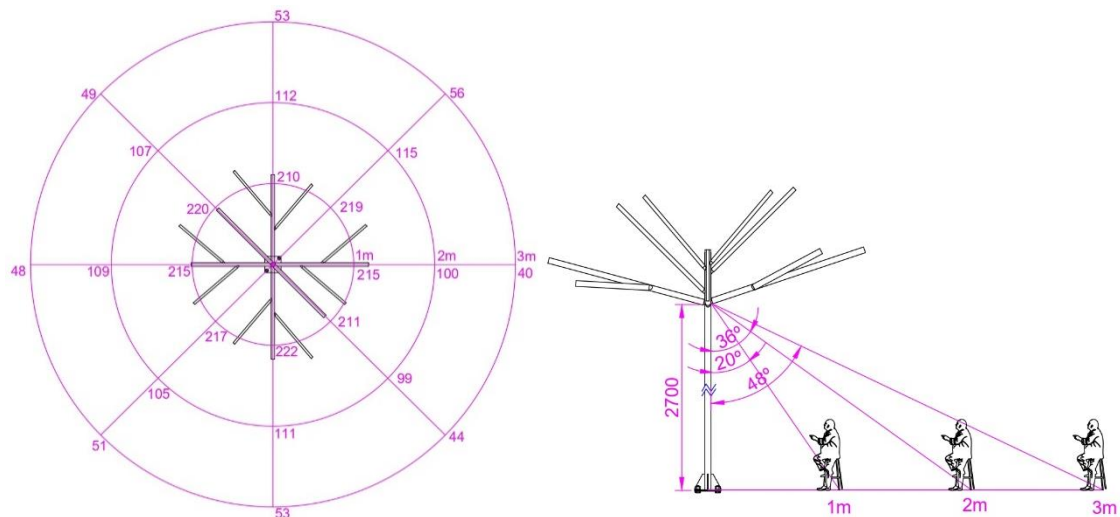


Figura 16. Puntos para realizar las mediciones fotométricas



### **5.2.7. Análisis económico**

Considerando los costos de materia prima, mano de obra y costos indirectos, se procede a realizar el análisis económico en contraste con una luminaria ornamental para espacios públicos disponible en el mercado; referenciando el ahorro energético por la implementación y la inversión del mismo. Con la finalidad de obtener el periodo de retorno de inversión del prototipo.

## 6. Resultados

El planteamiento de la metodología para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, permiten obtener los siguientes resultados.

### 6.1. Condiciones iniciales de diseño

#### 6.1.1. Mediciones del árbol pachaco

A través de una práctica experimental y mediante el uso del equipo Stanley TLM300, se identifican las medidas de 10 árboles de pachaco ubicados en la zona de Yantzaza, Zamora Chinchipe; como se puede observar en la Tabla 10. De la misma forma, se determinó los datos del ángulo de crecimiento de las ramas con respecto a la horizontal y el número de ramas que existe por cada árbol, como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 10.** Mediciones realizadas a diferentes árboles

Número de árbol medido	Dirección	Altura total del árbol (m)	Ancho de la copa (m)	Altura del tronco (m)	Ancho del tronco (m)
1	Yantzaza – Zamora Chinchipe	29.4	10	25.5	0.25
2	Yantzaza – Zamora Chinchipe	31.6	9	28.1	0.26
3	Yantzaza – Zamora Chinchipe	30.5	8.7	27.5	0.25
4	Yantzaza – Zamora Chinchipe	29.5	8	24.6	0.25
5	Yantzaza – Zamora Chinchipe	31.8	9	27.5	0.27
6	Yantzaza – Zamora Chinchipe	31.8	12	28.2	0.28
7	Yantzaza – Zamora Chinchipe	28.2	7	20.4	0.25
8	Yantzaza – Zamora Chinchipe	31	12.5	28.7	0.28
9	Yantzaza – Zamora Chinchipe	33	13.5	29.4	0.31
10	Yantzaza – Zamora Chinchipe	21.8	10	19.7	0.30
<b>PROMEDIO:</b>		29.83	9.97	26.2	0.27

Fuente: Anexo 1.

**Tabla 11.** Mediciones realizadas a diferentes árboles

Número de árbol medido	Ángulo de crecimiento de las ramas con respecto a la horizontal	Número de ramas
1	41°	9
2	35°	5
3	32°	4
4	50°	5
5	18°	8
6	34°	6
7	36°	7
8	18°	4
9	16°	5
10	50°	6
<b>Promedio:</b>		5.9 ≈ 6

Fuente: Anexo 1.

### **6.1.2. Criterios del diseñador**

Para la implementación del proyecto se considera trabajar con las dimensiones promedio de la Tabla 10, pero en una escala 1:10 con la finalidad de tener un equipo de fácil armado.

De la misma forma, para el diseño del prototipo se considera trabajar con una tubería de acero negro de 2 mm de espesor, disponible en el mercado local y además por la información técnica que se predispone del mismo.

## **6.2. Diseño mecánico**

### **6.2.1. Diseño de las ramas**

Considerando el promedio de la longitud del ancho de la copa y las dimensiones para el tubo de 2 mm de espesor, se procede a diseñar las ramas del árbol de pachaco con una resistencia del material a la fluencia de 250 MPa. Para ello, el diámetro interior del tubo debe ser mayor a los 20 mm que requiere el perfil de aluminio para las tiras LED.

Por lo tanto, de acuerdo al Anexo 2, al seleccionar una tubería de 1 1/4" de acero negro NTE INEN 2415 se obtiene un diámetro interior de 27.75 mm. Aplicando la Ecuación 17 se obtiene un momento de inercia para el tubo de:

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{64} = \frac{\pi((3.175 * 10^{-2}m)^4 - (2.75 * 10^{-2}m)^4)}{64} = 2.2 * 10^{-8}m^4$$

El ancho promedio de la copa del árbol pachaco es de 9.97 m como se muestra en la Tabla 10; al redondear a 10 m y al aplicar la escala 1:10 se obtiene que la longitud del ancho de la copa del árbol es de 1 m.

Tomando en consideración los datos obtenidos en la Tabla 11 se diseña un árbol con un número de 6 ramas, los cuales tienen un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal desde los 15° hasta los 36°. Obteniéndose de acuerdo a la Ecuación 45 las longitudes de las ramas que se muestra en la Tabla 12. De acuerdo a esta tabla, las ramas que mayor longitud tiene es la número 1, 2, 3 o 4. Cabe recalcar que se consideran igual longitudes en las 4 ramas con el fin de tener un equilibrio simétrico en el tronco y por consecuente en la base.

**Tabla 12.** Características por cada rama.

Número de rama	Ángulo de inclinación	Longitud de la rama (m)
1	20°	1.22
2	15°	1.22
3	36°	1.22
4	27°	1.22
5	18°	0.70
6	25°	0.70

Fuente: Autor.

A las dimensiones de las ramas de la Tabla 12, se especifica dos ramas secundarias con la finalidad de mejorar la estética del prototipo, el peso por cada metro de tubería de acuerdo a las especificaciones del Anexo 2 y el área del corte lateral, como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Dimensiones para ramificaciones con tubo de acero de 1 ¼".

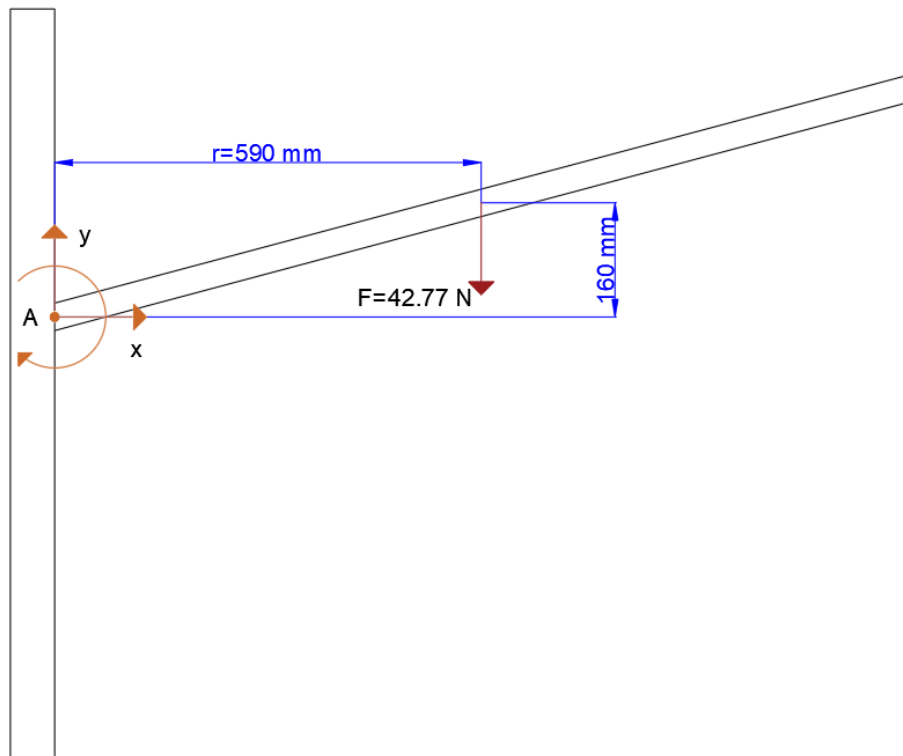
Número de rama	Longitud de la rama (m)	Ramas secundarias	Peso de la rama (N)	Área con corte lateral (m <sup>2</sup> )
1	1.22	2x0.70	37.77	0.083
2	1.22	2x0.70	37.77	0.083
3	1.22	2x0.70	37.77	0.083
4	1.22	2x0.70	37.77	0.083
5	0.70		37.77	0.022
6	0.70		37.77	0.022

Fuente: El autor.

También se debe considerar que el perfil donde va incorporada la cinta Led tiene un peso de 150 g/m, así mismo cada metro de cinta LED tiene un peso de 10 g/m. Esto nos da un peso adicional a la rama de 5 N por material lumínico y eléctrico. Entonces, se considera un peso total de **42.77 N** en la rama con mayor longitud (1 de la Tabla 13).

Al agregarle dos ramas de 0,7 m y considerando el peso de la rama (42.77 N) de acuerdo a la tubería seleccionada con respecto a los datos del Anexo 2; se calculó un esfuerzo máximo a la deflexión del material haciendo uso de la Ecuación 28 y el diagrama de la Figura 17.

$$\tau'' = \frac{M * r}{I} = \frac{42.77 \text{ N} * 0.59\text{m} * 0.16\text{m}}{2.2 * 10^{-8}\text{m}^4} = 184 \text{ MPa}$$



**Figura 17.** Diagrama de cuerpo libre

De acuerdo al Anexo 2, la resistencia a la fluencia de la tubería es 250 MPa, por lo tanto, cada ramificación con este material soporta de manera adecuada los valores calculados hasta este momento de cálculo.

### **6.2.2. Soldadura de la base de la rama**

Con el peso total de la rama 2 (42.77 N) se procede a calcular la base soldada al tronco principal, con las dimensiones de una tubería de diámetro menor, con la finalidad de que cada se acople y desmonte con facilidad.

Las bases unidas al tronco serán de 1" de acuerdo al Anexo 2; estos elementos serán soldados con el electrodo E7018, a tipo filete circundante con una garganta de soldadura de 7.94 mm (5/16") de espesor según la Tabla 8. Aplicando la Ecuación 25 el área de la garganta de la soldadura para un radio de tubo de 12.7 mm es:

$$A = 1.414\pi hr = 1.414 * \pi * 7.94 * 10^{-3} \text{ m} * 1.27 * 10^{-2} \text{ m} = 4.48 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Por lo tanto, el esfuerzo cortante al que está sometido de acuerdo a la Ecuación 24, para el peso de la rama más larga (42.77 N) es:

$$\tau' = \frac{42.77 \text{ N}}{4.48 * 10^{-4} \text{ m}^2} = 9.6 * 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Para determinar cómo el momento de inercia induce un componente de esfuerzo cortante en las soldaduras de acuerdo a la Ecuación 26 se obtiene:

$$I_u = \pi * r^3 = \pi * (1.27 * 10^{-2}m)^3 = 6.44 * 10^{-6}m^3$$

De la misma forma, con los datos obtenidos hasta este momento de cálculo, el momento de inercia con base al área de la garganta de la soldadura, aplicando la Ecuación 27 es:

$$I = 1,414 * \pi^2 h * r^3 = 1,414 * \pi^2 * 7.94 * 10^{-4}m * (1.27 * 10^{-2}m)^3 = 2.27 * 10^{-7}m^4$$

Por lo tanto, el esfuerzo cortante nominal en función del momento flector de acuerdo a la Ecuación 28 y la Figura 17 es:

$$\tau'' = \frac{M * r}{I} = \frac{42.77 \text{ N} * 0.59 \text{ m} * 1.27 * 10^{-2} \text{ m}}{2.27 * 10^{-7}m^4} = 1.4 * 10^6 \frac{\text{N}}{m^2} = 1.4 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo a soportar de acuerdo a la Ecuación 29. es:

$$\tau = ((\tau')^2 + (\tau'')^2)^{1/2} = \left( \left( 9.6 * 10^4 \frac{\text{N}}{m^2} \right)^2 + \left( 1.4 * 10^6 \frac{\text{N}}{m^2} \right)^2 \right)^{1/2} = 1.4 * 10^6 \frac{\text{N}}{m^2} = 1.4 \text{ MPa}$$

De acuerdo a la Tabla 6 el electrodo de la línea E70XXX tiene una resistencia a la fluencia de 393 MPa, el cual según la Tabla 7, al ser sometido a flexión el esfuerzo permisible cambia al siguiente valor:

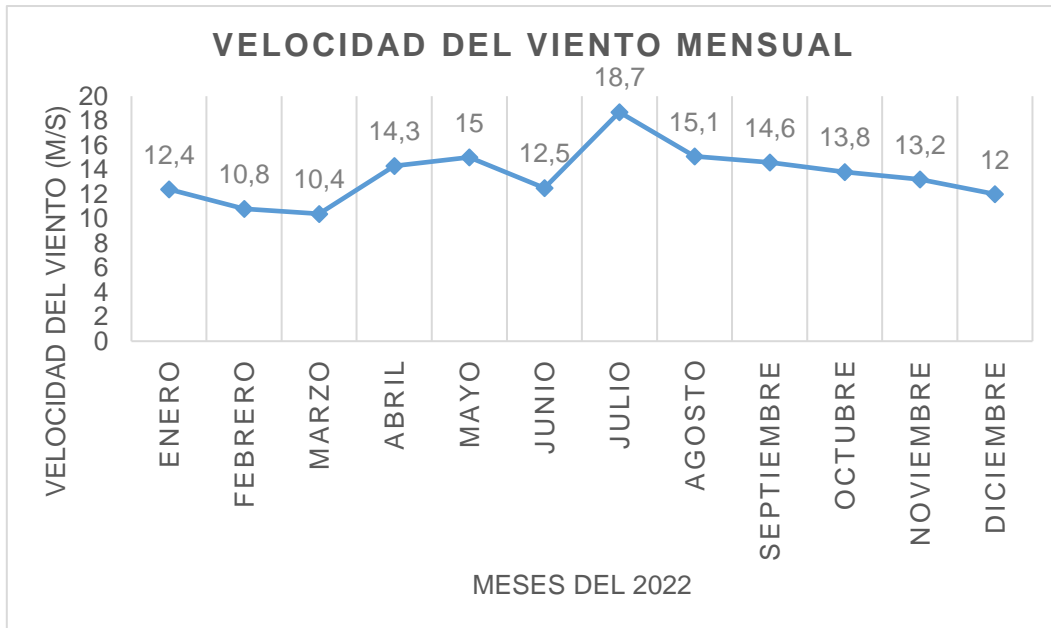
$$S_{per} = 0.66S_y = 0.66 * 393\text{MPa} = 259\text{MPa}$$

La soldadura determinada no supera el esfuerzo admisible del electrodo, resistiendo el peso de las ramas.

### 6.2.3. Diseño del tronco

#### 6.2.3.1. Cálculo de la carga por viento

De acuerdo a los datos de la estación meteorológica ubicada en el sitio de implementación (Universidad Nacional de Loja, 2023), las velocidades del viento correspondiente al año 2022 son las siguientes:



**Figura 18.** Velocidades máximas del viento correspondiente a los meses del 2022

Por lo tanto, de acuerdo a la Figura 18 la velocidad máxima del viento le corresponde al mes de Julio con 18,7 m/s y de acuerdo a la Ecuación 30 la carga por viento es la siguiente:

$$q_b = 0.5 * \delta * V^2 = 0.5 * \frac{1.25 \text{ kg}}{\text{m}^3} * \left(18.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 218.56 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2}$$

$$q_e = q_b * A * C_d = 218.56 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}^2} * 0.377 \text{ m}^2 * 1.2 = 98.9 \text{ N}$$

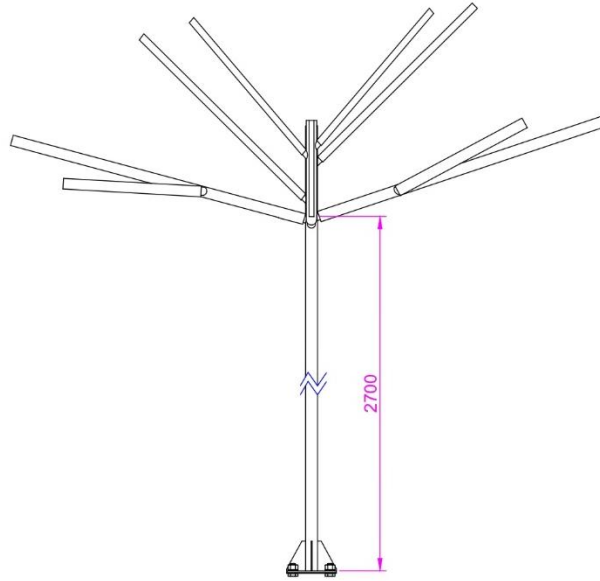
La altura total del tronco hasta las raíces de las ramas es 2.7 m, como se muestra en la Figura 19; en donde el momento flector dado por la carga del viento según la Ecuación 32 es el siguiente:

$$M_1 = q_e * d = 98.9 \text{ N} * 2.7 \text{ m} = 266.9 \text{ Nm}$$

La suma total del peso de las ramas de la Tabla 13 es de 171.26 N, el peso por material eléctrico y lumínico (35 N) y la carga por viento es de 98.88 N, lo que nos da un peso total de la carga de **305.14 N**; además, según la Figura 19 la altura del tronco es de 2.7 m, considerando la escala 1:10

Por otro lado, como primera iteración para efectuar el cálculo se considera como referencia la tubería de 2 mm de espesor de 2" del Anexo 2, teniendo un área de sección transversal de acuerdo a la Ecuación 16 de:

$$A = \frac{\pi(d_o^2 - d_i^2)}{4} = \frac{\pi((5.08 * 10^{-2} \text{ m})^2 - (4.68 * 10^{-2} \text{ m})^2)}{4} = 3 * 10^{-4} \text{ m}^2$$



**Figura 19.** Altura del árbol de Pachaco

De la misma forma, aplicando la Ecuación 17 el momento de inercia es:

$$I = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{64} = \frac{\pi((5.08 * 10^{-2}m)^4 - (4.68 * 10^{-2}m)^4)}{64} = 9.1 * 10^{-8}m^4$$

De acuerdo a la Ecuación 20. el radio de giro es el siguiente:

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{9.1 * 10^{-8}m^4}{3 * 10^{-4}m^2}} = 1.7 * 10^{-2}m$$

Calculamos la razón de esbeltez de acuerdo al Ecuación 19., con la longitud efectiva de acuerdo a la Tabla 5 y la longitud del tronco del árbol de 2.7 m, obteniendo como resultado el siguiente valor adimensional:

$$S_r = \frac{l_{eff}}{k} = \frac{2L}{k} = \frac{2 * 2.7m}{1.7 * 10^{-2}m} = 317.6$$

Al calcular el  $(S_r)_D$  con la Ecuación 22, con las características de las tuberías de acero de SAE 1008 del Anexo 2, con un módulo de Young de 200 GPa para el acero negro se obtiene el valor adimensional:

$$(S_r)_D = \pi \sqrt{\frac{2E}{S_y}} = \pi \sqrt{\frac{2 * 2 * 10^5 MPa}{330 MPa}} = 109.4$$

Siendo este valor menor que la razón de esbeltez, se calcula la carga crítica a soportar por la columna de acuerdo a la Ecuación 21, obteniéndose:



$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{4 * S_r^2} = \frac{\pi^2 * 2 * 10^5 \text{MPa} * 3 * 10^{-4} \text{m}^2}{4 * 317.6^2} = 1.47 \text{KN}$$

Considerando que el peso de total a soportar es 305.14 N y la carga crítica que puede soportar la columna es 1.47 KN, se identifica que la columna seleccionada soporta adecuadamente el peso; por lo tanto, la tubería del tronco será elaborada en tubo de acero SAE 1008 del Anexo 2 de 2" de diámetro y 2 mm de espesor.

#### 6.2.4. Diseño de la base

La base en donde se encuentra soldado el tubo principal, es una plancha NTE INEN 115, calidad ASTM A131 de 6 mm de espesor. De la misma forma los pernos están soldados desde la parte inferior con la misma plancha y en el mismo material. Además, se selecciona inicialmente de la Tabla 21 una rosca de 8 mm de diámetro, con una longitud en el agarre de 12 mm, longitud de tuerca de acuerdo a la Tabla 22 de 6.8 mm y 10 mm más de rosca, se obtiene la siguiente longitud del perno:

$$L = 12\text{mm} + 6.8\text{mm} + 10\text{mm} = 28.8\text{mm}$$

De la Ecuación 35 se obtiene la siguiente longitud roscada:

$$L_T = 2d + 6\text{mm} = 2(8\text{mm}) + 6\text{mm} = 22\text{mm}$$

De la Ecuación 36 la longitud de la parte sin rosca es:

$$l_d = L - L_T = 28.8\text{mm} - 22\text{mm} = 6.8\text{mm}$$

De acuerdo a la Ecuación 37 la longitud de la parte roscada en el agarre es la siguiente:

$$l_t = l - l_d = 12\text{mm} - 6.8\text{mm} = 5.2\text{mm}$$

El área de la parte roscada de acuerdo a la Ecuación 38 es la siguiente:

$$A_d = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(0.008)^2}{4} = 5.03 * 10^{-5} \text{m}^2$$

Por lo tanto, el valor relativo de rigidez de acuerdo a la Ecuación 33 con un área de esfuerzo de acuerdo a la Tabla 21 (36.6 mm<sup>2</sup>) es el siguiente:

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_d * l_d} = \frac{5.03 * 10^{-5} \text{m}^2 * 3.66 * 10^{-5} \text{m}^2 * 2.07 * 10^5 \text{MPa}}{5.03 * 10^{-5} \text{m}^2 * 5 * 10^{-2} \text{m} + 5.03 * 10^{-5} \text{m}^2 * 6.8 * 10^{-2} \text{m}}$$

$$= 6.42 * 10^7 \text{N/m}$$

Por otro lado, como el material que se encuentra en la zona de sujeción tienen un módulo de Young de  $20.5 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$  la rigidez del material que se encuentra en la zona de sujeción de acuerdo a la Ecuación 39. que es la siguiente:

$$k_m = \frac{0.5774\pi E d}{2 \ln \left( 5 * \frac{0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d} \right)} = \frac{0.5774\pi(20.5 * 10^{10} \text{N/m}^2)0.008\text{m}}{2 \ln \left( 5 * \frac{0.5774 * 0.012\text{m} + 0.5 * 0.008\text{m}}{0.5774 * 0.012\text{m} + 2.5 * 0.008\text{m}} \right)}$$

$$= 9.242 * 10^8 \text{N/m}$$

El factor de fracción de carga que puede soportar de acuerdo a la Ecuación 40. es:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} = \frac{6.42 * 10^7 \text{N/m}}{6.42 * 10^7 \text{N/m} + 9.242 * 10^8 \text{N/m}} = 0.06$$

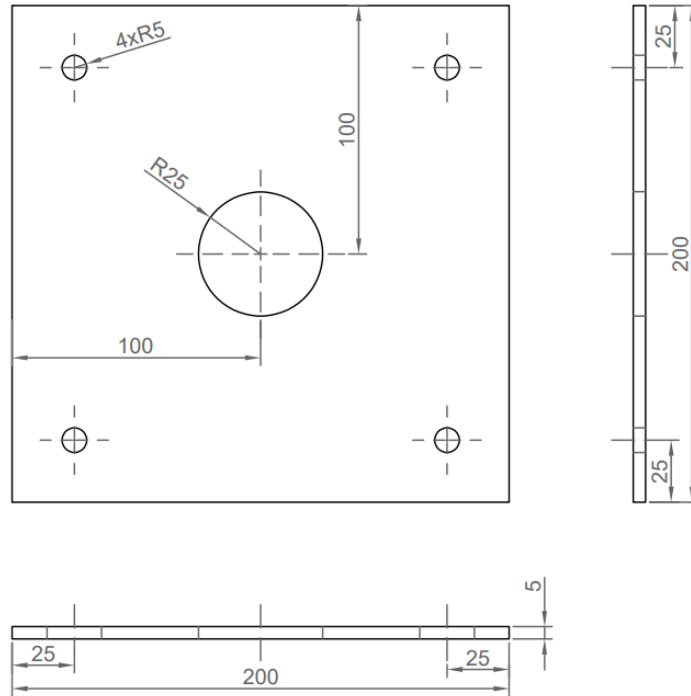
Al ser una conexión no permanente se considera un **factor de pérdidas de 0.75** según Budynas & Nisbett (2008); para calcular la carga a soportar por la unión se considera el número de ramas de la Tabla 13, la longitud de las mismas y el total de las áreas con corte lateral de las tuberías de 1 1/4" ( $0.36 \text{ m}^2$ ).

De acuerdo a la Figura 20, los pernos se ubicarán a 0.106 m del centro de la placa soldada, la carga soportada por ese esfuerzo de acuerdo al momento  $M_1$  (235.6 Nm) es el siguiente:

$$q_e = \frac{M_1}{d} = \frac{266.97 \text{ Nm}}{0.106 \text{ m}} = 2519 \text{ N}$$

Entonces:

$$P = q_e + \text{peso total en ramas} = 2519 \text{ N} + 206.6 \text{ N} = 2725.26 \text{ N}$$



**Figura 20.** Base del árbol Pachaco

Finalmente, el número de pernos M8 con marca de cabeza 4.6 de la Tabla 23 necesarios para realizar el ajuste de acuerdo a la Ecuación 42, es el siguiente:

$$N = \frac{C * n_L * P}{A_t * S_p - F_i} = \frac{0.06 * 2 * 2725.26 \text{ N}}{3.66 * 10^{-5} \text{ m}^2 * 240 \text{ MPa} - 0.75 \text{ N}} = 0.03$$

Por lo tanto; es factible hacer el uso de 4 pernos 5M0812530, con la finalidad de mantener el equilibrio del prototipo.

#### 6.2.4.1. Cálculo de la soldadura en la base

El tubo del tronco unida a la base es de 2" de acuerdo al Anexo 2; estos elementos se sueldan con el electrodo E7018, a tipo filete circundante con una garganta de soldadura de 7.9375 mm (5/16") de espesor, es decir aplicando la Ecuación 25 el área de la garganta de la soldadura para un radio de tubo de 25.4 mm, es:

$$A = 1.414\pi hr = 1.414 * \pi * 7.94 * 10^{-3} \text{ m} * 2.54 * 10^{-2} \text{ m} = 8.96 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Por lo tanto, el esfuerzo cortante al que está sometido de acuerdo a la Ecuación 24, para el peso por carga del viento de 87.256 N es:

$$\tau' = \frac{87.26 \text{ N}}{8.96 * 10^{-4} \text{ m}^2} = 9.74 * 10^4 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Para determinar cómo el momento de inercia induce un componente de esfuerzo cortante en las soldaduras de acuerdo a la Ecuación 26 se obtiene:

$$I_u = \pi * r^3 = \pi * (2.54 * 10^{-2}m)^3 = 5.1 * 10^{-5}m^3$$

Con los valores obtenidos, el momento de inercia con base al área de la garganta de la soldadura, aplicando la Ecuación 27 es:

$$I = 1,414 * \pi^2 h * r^3 = 1,414 * \pi^2 * 7.938 * 10^{-3}m * (2.54 * 10^{-2}m)^3 = 1.8 * 10^{-6}m^4$$

Por lo tanto, el esfuerzo cortante nominal en función del momento flector de acuerdo a la Ecuación 28 y la Figura 17 es:

$$\tau'' = \frac{M * r}{I} = \frac{87.26 N * 2.7m * 2.54 * 10^{-2}m}{1.8 * 10^{-6}m^4} = 3.32 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

El esfuerzo máximo a soportar de acuerdo a la Ecuación 29. es:

$$\tau = ((\tau')^2 + (\tau'')^2)^{\frac{1}{2}} = ((9.74 * 10^4 \frac{N}{m^2})^2 + (3.32 * 10^6 \frac{N}{m^2})^2)^{\frac{1}{2}} = 3.32 * 10^6 \frac{N}{m^2} = 3.32 \text{ MPa}$$

De acuerdo a la Tabla 6 el electrodo del a línea E7018 tiene una resistencia a la fluencia de 393 MPa, el cual según la Tabla 7, al ser sometido a flexión el esfuerzo permisible cambia a lo siguiente:

$$S_{per} = 0.66S_y = 0.66 * 393\text{MPa} = 259\text{MPa}$$

Es decir, que este tipo de soldadura no supera el esfuerzo admisible del electrodo, resistiendo el esfuerzo a soportar que es de 3.32 MPa.

#### 6.2.4.2. Resistencia de la base

La placa base, de acuerdo a la Figura 20 tendrá un espesor de 6 mm. Además, los pernos producirán un efecto de cizallamiento sobre la placa, con la misma fuerza que soportan por concepto del peso de total de las ramas y viento (305.14 N). Por lo tanto, de acuerdo a la Ecuación 43 el esfuerzo cortante de la plancha es:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{305.14 N}{6 * 10^{-3} m * 2 * 10^{-2} m} = 2.54 \text{ MPa}$$

De acuerdo al Anexo 4, la plancha de acero negro grado B, tiene una resistencia mecánica de 400 MPa (40.8 kgf/mm<sup>2</sup>) por lo tanto, la base no sufrirá cizallamiento y soportará la carga asignada.

### 6.3. Diseño eléctrico

#### 6.3.1. Selección de la iluminación LED

Para el presente proyecto se seleccionó tira LED 2835 de color blanca de 110 V, de 5m de largo con protección IP54; su potencia de consumo es de 15 W por metro, su

luz es de 3000 K – 6500 K, será una iluminación de tonos neutros, tal y como se puede observar en la Figura 21.



**Figura 21.** Cinta LED alta potencia 110 V 2835 5 m

### 6.3.2. Demanda eléctrica y protecciones

Considerando las dimensiones de las ramas de la Tabla 13 se determina la potencia requerida por cada rama, valores expuestos en la Tabla 14 y la corriente que circula por cada rama haciendo uso de la Ecuación 10:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{39.3 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 0.36 \text{ A}$$

**Tabla 14.** Potencia requerida por cada rama.

Número de rama	Longitud de la rama (m)	Ramas secundarias	Potencia por rama (W)	Fusible (A)
1	1.22	2x0.70	39.3	0.36
2	1.22	2x0.70	39.3	0.36
3	1.22	2x0.70	39.3	0.36
4	1.22	2x0.70	39.3	0.36
5	0.70		10.5	0.10
6	0.70		10.5	0.10

**Fuente:** Autor.

De acuerdo a la Tabla 14; la potencia total del prototipo es de 178,2 W y la corriente que circula por el prototipo es:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{178,2 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 1.62 \text{ A}$$

Por lo cual se seleccionará un fusible de 2 A, dando como resultado el circuito de accionamiento que se observa en la Figura 22. De la misma forma, por el catálogo del Anexo 5 se seleccionará un interruptor termomagnético de 1 polo de 15 A.

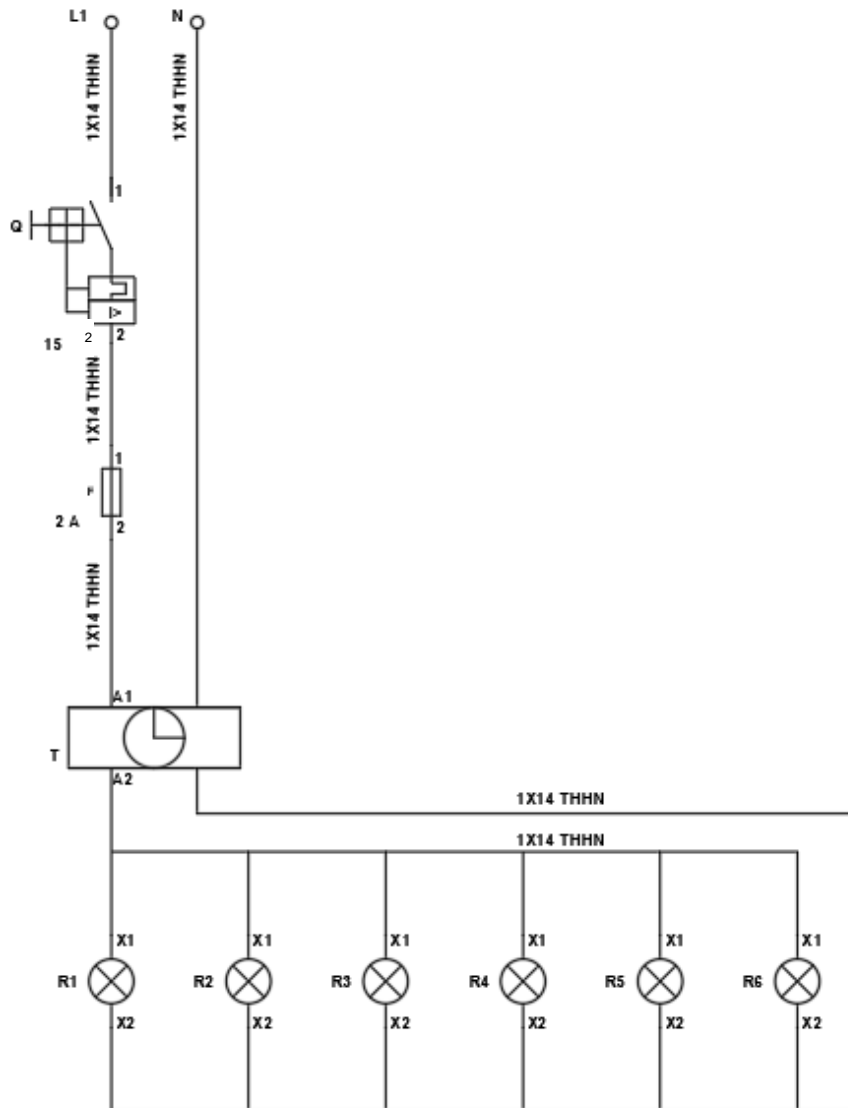


Figura 22. Diagrama eléctrico del sistema de iluminación del árbol

### 6.3.3. Cálculo del conductor

Con la máxima potencia requerida según la Tabla 14, se procede a realizar el cálculo de la caída de tensión para un conductor de cobre número catorce ( $2.08 \text{ mm}^2$ ), con resistividad de  $1.72 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ , de 6 m de longitud, con un factor de potencia de 0.9; aplicando la Ecuación 11, obteniendo el siguiente valor:

$$\Delta V = \frac{2 * \rho * L * I * \cos\phi}{s} = \frac{2 * 1.72 * 10^{-8} \Omega\text{m} * 6 \text{ m} * 1.62\text{A} * 0.9}{2.08 * 10^{-6} \text{ m}^2} = 0.145 \text{ V}$$

Siendo el porcentaje de caída de tensión, para una alimentación de 110 V, de acuerdo a la Ecuación 12 el siguiente:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V} * 100 = \frac{0.145 \text{ V}}{110 \text{ V}} * 100 = 0.13\%$$

La caída de tensión, no supera el límite recomendado que es del 3%.

## 6.4. Construcción del árbol

### 6.4.1. Insumos y materiales

Los insumos y materiales requeridos para la construcción de un prototipo de iluminación decorativa con tecnología LED, considerando la geometría del árbol schizolobium parahybum (pachaco), se exponen en la **Tabla 15**.

**Tabla 15.** Insumo y materiales requeridos para la construcción

Orden	Descripción	Ubicación	Unidad	Cantidad	Precio USD
1	Tubo de 1 ¼" de 2 mm de espesor	Ramas	6 m	2	15.62
2	Tubo de 2" de 2 mm de espesor	Tronco	6 m	1	23.48
3	Placas de acero al carbono, laminado al frío de 200x200 mm	Base	Espesor 6 mm	2	11.60
4	Pernos 5M0812530	Base	Unidad	4	8.00
5	Tuercas de presión para perno M20	Base	Unidad	4	2.00
6	Arandelas para perno M20	Base	Unidad	4	1.00
7	Electrodo 7018	Todo	Unidad	5	3.83
8	Fusible de 2 A	Control	Unidad	1	1.00
9	Conductor de cobre THHN #14	Todo	m	60	21.00
10	Perfil para luces LED de 20 mm empotrado	Ramas	3 m	4	14.50
11	Tubería de 1" de 2 mm de espesor	Ramas	6 m	1	9.33
12	Disyuntor o breaker de 1 polos de 15 A	Control	Unidad	1	10.00
13	Porta fusible	Control	Unidad	6	2.00
14	Tablero de control	Control	Unidad	1	30.00
15	Terminales para conductor #14	Control	Unidad	28	1.30
16	Cinta aislante	Todo	Unidad	2	0.50
17	Pintura de esmalte	Todo	Unidad	1	11.00
18	Temporizador KG316T	Control	Unidad	1	16.00
19	Cinta LED blanca 2835 de 110V	Ramas	5 m	2	18.00
<b>Subtotal</b>					200.16
<b>Total, incluido IVA 12%</b>					224.18

Fuente: El autor.

De la misma forma, los equipos necesarios para realizar la construcción son los que se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Herramientas requeridas para el proyecto.

Orden	Descripción	Cantidad
1	Amoladora	1
2	Soldadora	1
3	Llave inglesa	1
4	Desarmador estrella	1
5	Desarmador plano	1
6	Alicate Universal	1
7	Multímetro	1
8	Pistola y compresor	1
9	Crimpadora	1
10	Equipo de protección personal	1
11	Taladro	1
12	Broca de acero 22	1
13	Stanley TLM300	1
14	Luxómetro Uni-t Ut383 Ecuaplus	1

Fuente: El autor.

#### 6.4.2. Construcción del prototipo

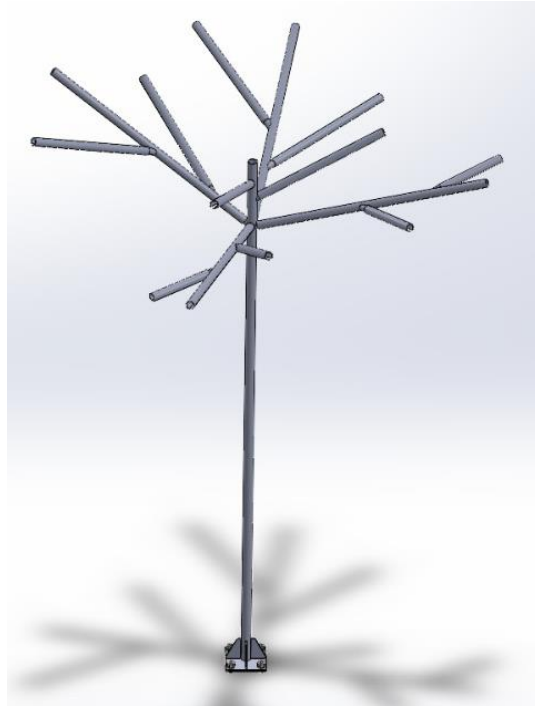
Considerando los materiales de la Tabla 15 se procede a realizar los planos expuestos en el Anexo 7 y el modelado que se muestra en la Figura 23. De la misma forma, con la mano de obra requerida como se muestra en la Tabla 17, se elabora el prototipo.

**Tabla 17.** Costo de mano de obra empleada en la construcción

Actividad	Cantidad (h)	P. Unitario USD	Total USD
Soldadura	15	1.63	24.5
Corte de tubería	21	0.77	16.2
Instalación eléctrica	6	5.00	30.00
	<b>Subtotal:</b>		70.70
	<b>Total, incluido IVA 12%:</b>		79.18

Fuente: SALARIOS MÍNIMOS SECTORIALES 2021, Ministerio de Trabajo





**Figura 23.** Modela 3D del árbol Pachaco

Se realiza la construcción del tronco con las bases por cada rama, como se muestra en la Figura 24; para ello se hace uso de la tubería de 2 mm de espesor de 2" y de 1", para las uniones fijas se utilizó el electrodo 7018.



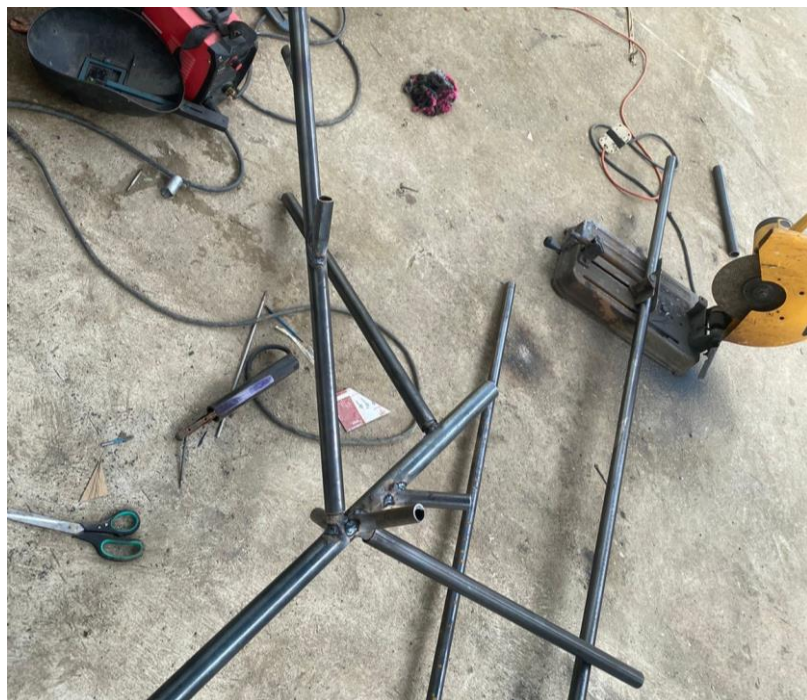
**Figura 24.** Puntos de salida para las ramificaciones del árbol

Utilizando la plancha de 6mm de espesor, se procede a unir la base con sus respectivas perforaciones al tronco del árbol como se observa en la **Figura 25**. Base unida al tronco del árbol, con la soldadura 7018, para ello se considera las dimensiones dadas en la Figura 20.



**Figura 25.** Base unida al tronco del árbol

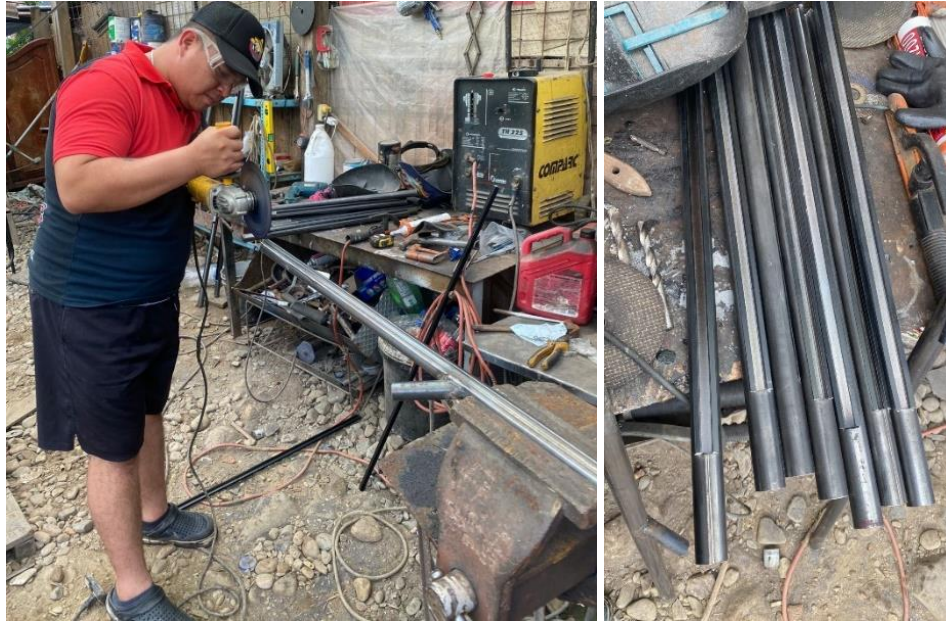
A continuación, se procede a realizar el corte de las ramas que tendrá el prototipo de acuerdo a lo especificado con las respectivas sub ramas que contendrá cada tubo, como se muestra en la Figura 26.



**Figura 26.** Acoplamiento de las ramas a la base unida al tronco

Considerando las dimensiones del perfil en donde se ubicarán las luces LED, se procede a realizar el corte longitudinal de cada tubería con la finalidad de empotrar el perfil requerido, como se muestra en la Figura 27.





**Figura 27.** Corte longitudinal y adaptación del perfil de las luces LED

Cabe destacar que el acople de cada rama, con los tubos de los perfiles tendrán dos pernos de sujeción como se muestra en la Figura 28; con la finalidad de garantizar la fijación del prototipo para ello se utiliza 2 tornillos 2M08.



**Figura 28.** Unión no fija de las ramas a la base

Finalmente, culminando la construcción del prototipo se procede a implementar el sistema de iluminación y circuito eléctrico de cada rama, al igual que el sistema de accionamiento como se especifica en los planos del Anexo 7, como se muestra en la Figura 29.



**Figura 29.** Instalación del sistema de iluminación y sistema de control eléctrico

**6.4.3. Mediciones luminotécnicas realizadas con la implementación del prototipo de iluminación.**

Haciendo uso del equipo Luxómetro Uni-t Ut383 Ecuaplus, se procede a realizar las mediciones de la cantidad de lúmenes a las distancias expuestas en la Figura 16, y Figura 30, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 18, de la misma forma se muestran los resultados calculados en Lux de acuerdo a la Ecuación 8.



**Figura 30.** Funcionamiento del prototipo de iluminación y comparación con el árbol Pachaco



**Tabla 18.** Medición de lúmenes en la zona donde se implementa el prototipo.

Número de medición	h [m]	1 m de radio	Lúmenes medidos [candela]	$E_{\alpha}$ [lux]
		$\alpha$		
1	2,7	20	210	64,538
2	2,7	20	220	67,611
3	2,7	20	215	66,074
4	2,7	20	217	66,689
5	2,7	20	222	68,225
6	2,7	20	211	64,845
7	2,7	20	215	66,074
8	2,7	20	219	67,304
		2 m de radio		
		$\alpha$		
9	2,7	20	112	34,420
10	2,7	20	107	32,883
11	2,7	20	109	33,498
12	2,7	20	105	32,269
13	2,7	20	111	34,113
14	2,7	20	99	30,425
15	2,7	20	100	30,732
16	2,7	20	115	35,342
		3 m de radio		
		$\alpha$		
17	2,7	20	53	16,288
18	2,7	20	49	15,059
19	2,7	20	48	14,751
20	2,7	20	51	15,673
21	2,7	20	53	16,288
22	2,7	20	44	13,522
23	2,7	20	40	12,293
24	2,7	20	56	17,210

Fuente: El Autor.

De acuerdo a la Tabla 18 y a la Ecuación 9, a una distancia de 1 m se tiene el siguiente nivel de iluminación:

$$E_{med} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{\alpha_i}}{n} = \frac{64.54 + 67.61 + 66.07 + 66.69 + 68.23 + 64.84 + 66.07 + 67.3}{8} = 66.42 \text{ Lux}$$

El valor de  $E_{med}$  a partir de la Ecuación 7 permite obtener la siguiente luminancia:

$$L = \frac{I}{S * \cos(\alpha)} = \frac{E_{med}}{\pi * r^2} = \frac{66.42 \text{ Lux}}{\pi * (1\text{m})^2} = 21.14 \text{ Lum}$$

Por lo tanto, se comprueba que el prototipo cumple con los niveles de iluminación requeridos por la RTE INEN 069.

De la misma forma, de acuerdo a la Tabla 18 y a la Ecuación 9, a una distancia de 2 m se tiene el siguiente nivel de iluminación:

$$E_{med} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{\alpha_i}}{n} = \frac{34.42 + 32.88 + 33.5 + 32.27 + 34.11 + 30.42 + 30.73 + 35.34}{8}$$

$$= 32.96 \text{ Lux}$$

Esto nos proporciona de acuerdo a la Ecuación 7 la siguiente luminancia:

$$L = \frac{I}{S * \cos(\alpha)} = \frac{E_{med}}{\pi * r_2^2 - \pi * r_1^2} = \frac{32.96 \text{ Lux}}{\pi * (2\text{m})^2 - \pi * (1\text{m})^2} = 3.469 \text{ Lum}$$

Por lo tanto, se comprobó que el prototipo cumple con los niveles de iluminación requeridos por la RTE INEN 069.

Finalmente, de acuerdo a la Tabla 18 y a la Ecuación 9, a una distancia de 3 m se tiene el siguiente nivel de iluminación:

$$E_{med} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{\alpha_i}}{n} = \frac{16.29 + 15.09 + 14.75 + 15.67 + 16.29 + 13.52 + 12.29 + 17.21}{8}$$

$$= 15.14 \text{ Lux}$$

Estos valores proporcionan de acuerdo a la Ecuación 7 la siguiente luminancia:

$$L = \frac{I}{S * \cos(\alpha)} = \frac{E_{med}}{\pi * r_3^2 - \pi * r_2^2} = \frac{15.14 \text{ Lux}}{\pi * (3\text{m})^2 - \pi * (2\text{m})^2} = 0.9638 \text{ Lum}$$

Por lo tanto, se comprobó que el prototipo no cumple con los niveles de iluminación requeridos por la RTE INEN 069 a 3 m.

#### 6.4.4. Análisis de costos

Considerando los costos directos de mano y materia prima, como los costos indirectos de la Tabla 19, se procede a realizar el cálculo del periodo de retorno de inversión del prototipo, con la Ecuación 44 y el ahorro energético en contraste con una luminaria para exteriores del mercado, que se detalla en el Anexo 6 cuya potencia de consumo es de 450 W.

**Tabla 19.** Costos indirectos de la construcción del prototipo

Detalle	Costo USD
Transporte	5.00
Energía	10.00
Varios	5.00
<b>Total</b>	<b>20.00</b>

Fuente: El Autor.

Definiendo el periodo de funcionamiento del prototipo en 12 horas por día o 360 horas al mes, el costo de energía según el Pliego Tarifario de Energía Eléctrica del ARCONEL en 0.095 USD/kWh (ARCERNNR, 2022) y la potencia consumida por una

lámpara comercial (225 W) y el prototipo diseñado (157.2 W), se obtiene el siguiente ahorro energía expresado en USD.

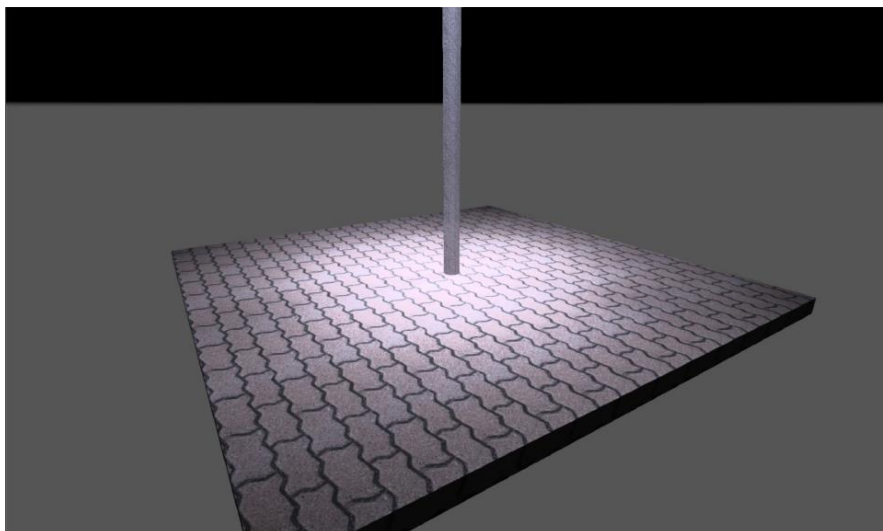
$$\begin{aligned} \text{Ahorro energético} &= 0.225 \text{ kW} * 360\text{h} * \frac{0.095\text{USD}}{\text{kWh mes}} - 0.1572 \text{ kW} * 360\text{h} * \frac{0.095\text{USD}}{\text{kWh mes}} \\ &= \frac{3.345\text{USD}}{\text{mes}} \end{aligned}$$

Aplicando la Ecuación 44 se procedió a realizar el cálculo del periodo de retorno de inversión con el costo total del prototipo 323.36 USD, obteniendo el siguiente resultado:

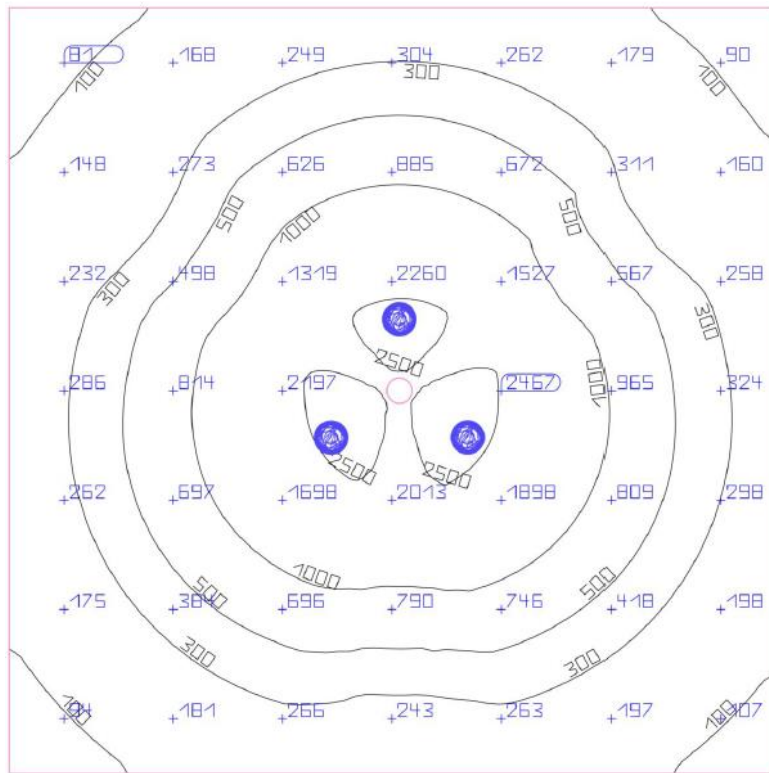
$$\text{PR} = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ingresos promedios (Ahorro)}} = \frac{323.36 \text{ USD}}{3.35\text{USD}} = 96 \text{ meses}$$

Cabe destacar que se contrastó el prototipo con una lámpara comercial (Anexo 6), la cual está conformada por 3 lámparas comerciales Anolis - Ambiane HP111 Surface mount PW 4000K 20° de 75 W; al simular con las mismas condiciones de aplazamiento de esta lámpara en el software DIALux evo se obtuvo el mismo nivel de intensidad lumínica como se observa en la Figura 31, para un radio de 3 m. Sin embargo, la simulación arrojó otros niveles de intensidad luminosa en la curva isolux como se aprecia en la Figura 32; además el precio de esta lámpara comercial es de 300 USD y cada luminaria tiene un costo de 30 USD. Sin considerar costos de montaje ni mástil.

Con respecto al costo de la lámpara comercial que es de 390 USD frente al prototipo construido con un costo de 323.36, podemos decir que el prototipo es rentable y puede competir en el mercado de luminarias con fines decorativos.



**Figura 31.** Simulación de lámpara comercial en DIALux evo



**Figura 32.** Curva isolux de la lámpara comercial



## 7. Discusión

El *Schizolobium parahybum* (Vell) Blake (Pachaco) se desarrolla esporádicamente en las regiones trópicas húmedas, como la zona oriental del Ecuador que crece sobre suelos arcillosos. La especie se caracteriza por sus fustes rectos, libres de ramas en los primeros 3 a 7 m del tronco y por su altura que en promedio alcanza los 30 m. Esta especie de árbol es emblemática para la zona oriental del Ecuador y dado a su amplio aprovechamiento como material de construcción, a través del presente proyecto de investigación se diseña y construye un prototipo de iluminación decorativa con tecnología LED, con una escala de 1:10; en tributo a esta especie emblemática de la zona.

A través de la revisión bibliográfica y la recopilación de información técnica correspondiente al árbol de pachaco, se elabora y ejecuta una práctica experimental con la finalidad de obtener las dimensiones de varios árboles ubicados en la ciudad de Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe; con los resultados de la misma se establece las dimensiones que tendrá el prototipo para una escala 1:10. Con la tubería de acero de 2 mm de espesor disponible en el mercado, se diseña el árbol con uniones soldadas por el electrodo E7018; además, se consideró la ranura en donde se implementará el perfil de luces LED 2835 por cada rama. La base dimensionada es de ASTM A131 de 6mm de espesor, esta sostendrá toda la estructura del prototipo. Todas las partes y uniones fueron validadas mediante la memoria de cálculo, con la finalidad de garantizar un correcto funcionamiento del prototipo propuesto.

Mediante las normas técnicas de iluminación para espacios públicos RTE INEN 069 y en contraste con las mediciones realizadas en la zona de implementación del prototipo, por aplicación del método punto por punto recomendado por Taboada (1983), se identificó que, a un radio de 2 metros, el prototipo cumple con los niveles de iluminación requeridos y a un radio de 3 metros, el prototipo ya no cumple con la normativa especificada. Con el contraste de una lámpara comercial se identifica que se puede obtener la misma intensidad de iluminación, sin embargo, en el mercado una lámpara adecuada para parques y ambientes exteriores tiene un costo de 390 USD (sin considerar costos de instalación); se identifica que el prototipo es competente, funcional y eficiente.

Mediante la suma de costos directo e indirectos se identifica que el prototipo tiene un costo total de fabricación de 323.36 USD; y posee un periodo de retorno de inversión de 96 meses; por ahorro energético.

## 8. Conclusiones

- Con la utilización de materiales existentes en el mercado local, se diseñó el prototipo de un sistema de iluminación con tecnología LED basado en la geometría del árbol *Schizolobium parahybum* (Pachaco), para ello se utiliza tubería de acero de 2 mm de espesor de 2" y 1 ¼" para el tronco y las ramas respectivamente.
- Considerando el perfil para la implementación de luces de tira LED 2835, las dimensiones obtenidas a través de la práctica experimental y el diseño mecánico y eléctrico del prototipo de iluminación, se construye el sistema de iluminación en un modelo de escala 1:10 del árbol de Pachaco; validando la funcionalidad del prototipo mediante fotometría, la intensidad lumínica para un radio de hasta 2 metros con respecto a la normativa RTE INEN 069 para alumbrado público.
- Al comparar este sistema de iluminación con una lámpara ornamental para exterior disponible en el mercado, se analizó económicamente que el periodo de retorno de inversión de este prototipo de iluminación basado en el árbol de pachaco es de 96 meses y un costo de inversión de 323.36 USD.
- El prototipo de iluminación decorativo urbana basado en la geometría del árbol de *Schizolobium parahybum* (Pachaco) cumple con las normativas de iluminación para exteriores RTE INEN 069 para alumbrado público.

## **9. Recomendaciones**

- Desarrollar un software que permita parametrizar el diseño de un prototipo de iluminación considerando la geometría del árbol Pachaco, a diferentes ramas y dimensiones.
- Diseñar un sistema que permita trabajar con la tecnología LED sin la necesidad de utilizar un perfil, que cumpla con la normativa IPE y otorgue facilidades de mantenimiento.
- Realizar un estudio de mercado y calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) del prototipo, con la finalidad de identificar la factibilidad de implementar este prototipo para parques y espacios públicos.

## 10. Bibliografía

ARCERNNR. (2022). Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica año 2022. Ministerio de Energía. [https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/05/Pliego-Tarifario-Servicio-Publico-de-Energia-Electrica\\_-Ano-2022.pdf](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/05/Pliego-Tarifario-Servicio-Publico-de-Energia-Electrica_-Ano-2022.pdf)

Budynas, R. G., & Nisbett, K. J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley: Vol. Novena* (Novena). Mc Graw Hill. <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf>

BUSSMAN. (2019). Fundamentos acerca de la protección contra sobrecorriente. BUSSMAN SERIES. <https://euroelectrica.com.mx/wp-content/uploads/2019/04/Fuseolog%C3%ADa-Fundamentos-de-la-protecci%C3%B3n-contra-sobrecorriente.pdf>

CÓDIGO DE PRÁCTICA PARA ALUMBRADO PÚBLICO, 06.03-601, Parte II, 06.03-601 116 (1987). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/CPE-14.pdf7>

Condumex. (2009). Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión (Quinta). Col. Granada. <https://www.uv.mx/personal/jdominguez/files/2012/10/Manual-de-Instalaciones-Elctricas-en-BT-2009.pdf>

Harper, E. (2003). Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales: Vol. Segundo (Segunda). LIMUSA. <https://books.google.com.ec/books?id=w7HcrKdl4wQC&pg=PA192&dq=interruptor+termomagnetico&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjY6LGCirz9AhWcSTABHVI0CmkQ6AF6BAgIEAI#v=onepage&q=interruptor%20termomagnetico&f=false>

Juárez Cervantes, J. D. (1995). Sistemas de distribución de energía eléctrica (Primera, Vol. 1). UNIDAD AZCAPOTZALCO.

Lamas Tamayo, M. P. (2023). *Diseño del Sistema de Iluminación para el Estadio de Fútbol de la Liga Deportiva Cantonal de Catamayo* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/26083>

LEDVANCE. (2019). *Tiras de LED y drivers*. LEDVANCE. <https://euroelectrica.com.mx/wp-content/uploads/2019/05/TIRAS-DE-LED.pdf>

León, R., Florianus, S. W., William, D., & Romero, J. L. (199d. C.). PARÁMETROS GENÉTICOS Y VARIACIÓN ENTRE PROCEDENCIAS DE

Schizolobium parahybum (Vell) Blake ESTABLECIDAS EN VENEZUELA. *En línea*, 1(2), 13-18. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49710203.pdf>

Morales Escobar, C. K. (2021). *Identificación y patogenicidad de agentes fungosos asociados al decaimiento de árboles de Schizolobium parahybum (Vell.) S.F.Blake (pachaco) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano* [Proyecto de investigación, UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/6625/1/T-UTEQ-216.pdf>

Norton, R. L. (2009). *Diseño de máquinas* (Cuarta, Vol. 4). Mc Graw Hill. <https://sbunefm.files.wordpress.com/2018/10/disec3b1o-de-maquinaria-robert-l-norton-4.pdf>

OCTAL. (2018). *Tabla de Dimensiones de Tubos de Acero (Medidas para Tubos Cedula 40, 80)*. OCTAL. <https://www.octalacero.com/dimensiones-de-tubos-cedula-40-80>

Ramírez Molinares, C. V., García Barbosa, M., & Pantoja Algarin, C. R. (2010). *Fundamentos y técnicas de costos* (Primera, Vol. 1). Universidad Libre de Colombia. [https://www.unilibre.edu.co/cartagena/pdf/investigacion/libros/ceac/FUNDAMENTOS\\_Y\\_TECNICAS%20DE%20COSTO.pdf](https://www.unilibre.edu.co/cartagena/pdf/investigacion/libros/ceac/FUNDAMENTOS_Y_TECNICAS%20DE%20COSTO.pdf)

Sánchez Cueba, L. H. (2022). *Sistema de iluminación LED automatizada para el edificio 3 de la Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja* [Trabajo de Titulación, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/25972>

Santiuste, C. (Director). (2018). *Cargas de viento* [Educativo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=6nXVqok9dT4>

Singer, P. (2008). *Resistencia de Materiales* (Cuarta, Vol. 142).

Taboada, J. A. (1983). *Manual de luminotecnica: Vol. Cuarta* (Cuarta). OSRAM.

Tenempaguay Cabadiana, A. E. (2022). *Diseño eléctrico para un sistema de producción de Gel antibacterial* (Bachelor's thesis).

Viñán Villagrán, J. A., Puente Riofrío, M. I., Ávalos Reyes, J. A., & Córdova Prócel, J. R. (2018). *Proyectos de inversión: Un enfoque práctico* (Primera, Vol. 17). Dirección de publicaciones.

## 11. Anexos

### Anexo 1. Práctica experimental

#### Medición de varios árboles schizolobium parahynum (pachaco)

##### INTRODUCCIÓN

Se realizó esta actividad con el fin de determinar las diferentes dimensiones del árbol schizolobium parahynum (pachaco), que se encuentran en la ciudad de Yantzaza, estableciendo de esta manera las condiciones iniciales para el diseño y construcción del prototipo de iluminación.

##### OBJETIVO

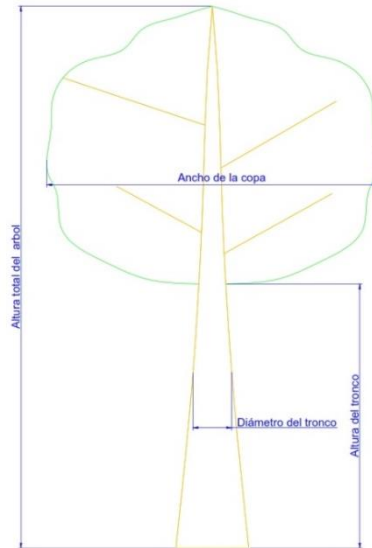
Obtener la dimensión promedio del árbol de pachaco ubicado en la ciudad de Yantzaza.

##### MATERIALES

- Medidor láser de distancia.
- Ficha técnica de tabulación de datos.
- Insumos de oficina.
- Calculadora.

##### PROCEDIMIENTO

1. Dirigirse a los diferentes sectores en donde se produzcan los árboles de pachaco.
2. Con la ayuda del medidor láser, tomar las mediciones requeridas de acuerdo a la figura 1.



**Figura 1.** Dimensiones requeridas de un árbol

3. Tabular los resultados en las siguientes tablas:

**Tabla 1.** Información referencial para tabular datos.

Número de árbol medido	Dirección	Altura total del árbol (m)	Ancho de la copa (m)	Altura del tronco (m)	Ancho del tronco (m)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
<b>PROMEDIO:</b>					

Fuente: El autor.

**Tabla 2.** Información de los datos a considerar.

Número de árbol medido	Angulo de crecimiento de las ramas con respecto a la horizontal	Número de ramas
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
<b>Promedio:</b>		

Fuente: El autor.

## RESULTADOS

Las dimensiones obtenidas, fueron las siguientes:

**Tabla 3.** Información referencial para tabular datos

Número de árbol medido	Dirección	Altura total del árbol (m)	Ancho de la copa (m)	Altura del tronco (m)	Ancho del tronco (m)
1	Yantzaza – Zamora Chinchipe	29.4	10	25.5	0.25
2	Yantzaza – Zamora Chinchipe	31.6	9	28.1	0.26
3	Yantzaza – Zamora Chinchipe	30.5	8.7	27.5	0.25
4	Yantzaza – Zamora Chinchipe	29.5	8	24.6	0.25
5	Yantzaza – Zamora Chinchipe	31.8	9	27.5	0.27
6	Yantzaza – Zamora Chinchipe	31.8	12	28.2	0.28
7	Yantzaza – Zamora Chinchipe	28.2	7	20.4	0.25
8	Yantzaza – Zamora Chinchipe	31	12.5	28.7	0.28
9	Yantzaza – Zamora Chinchipe	33	13.5	29.4	0.31
10	Yantzaza – Zamora Chinchipe	21.8	10	19.7	0.30
<b>PROMEDIO:</b>		29.83	9.97	26.2	0.270

Fuente: El autor

**Tabla 4.** Información de los datos a considerar

Número de árbol medido	Angulo de crecimiento de las ramas con respecto a la horizontal	Número de ramas
1	41°	9
2	35°	5
3	32°	4
4	50°	5
5	18°	8
6	34°	6
7	36°	7
8	18°	4
9	16°	5
10	50°	6
<b>Promedio:</b>		5.9 ≈ 6

Fuente: El autor

## CONCLUSIÓN

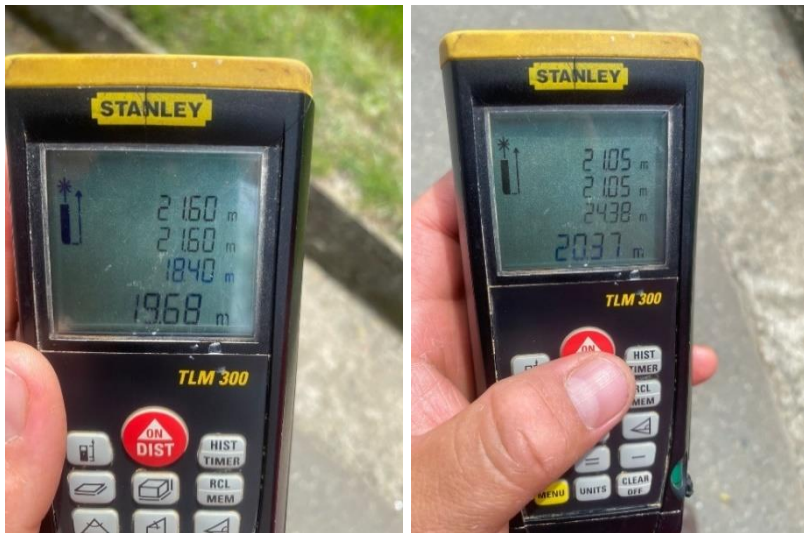
A través de la actividad detallada se pudo determinar que la altura promedio de un árbol de *schizolobium parahynum* (pachaco) ubicado en ciudad de Yantzaza tiene una altura promedio de 30 m, un ancho de la copa de 9,47 m, una altura del tronco de 26,2 m y un ancho del tronco de 0,27 m.

## FOTOGRAFÍAS





**Figura 2.** Mediciones efectuadas a los árboles



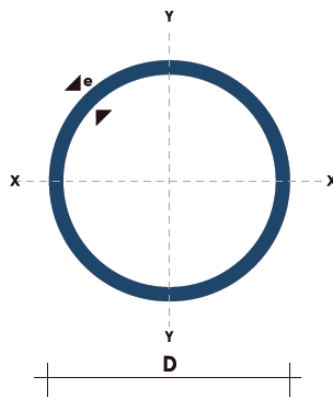
**Figura 3.** Mediciones obtenidas con el medidor láser



**Figura 4.** Perspectiva de las mediciones del ángulo de las ramas

**Anexo 2.** Tubería de acero negro NTE INEN 2415

<b>Propiedades mecánicas</b>		
Resistencia mecánica	Punto de fluencia	Elongación % min
MPa	(MPa)	
330	250	19
<b>Modulo de Elasticidad</b>		
200 GPa		



**Tabla 20.** Cédula 40.

<b>(D) Diámetro</b>	<b>Espesor</b>	<b>Peso</b>	<b>Área</b>	<b>I</b>	<b>W</b>	<b>i</b>
<b>Pulgadas</b>	<b>mm</b>	<b>Kg/m</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>	<b>cm<sup>4</sup></b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	<b>cm<sup>3</sup></b>
7/8"	1.5	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1"	1.5	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4"	1.5	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2"	1.5	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4"	1.5	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2"	1.5	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2"	1.5	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3"	1.5	2.76	3.52	24.56	6.45	2.64
1"	2.00	1.15	1.47	1.01	0.80	0.83
1 1/4"	2.00	1.47	1.87	2.08	1.31	1.05
1 1/2"	2.00	1.78	2.27	3.71	1.95	1.29
1 3/4"	2.00	2.09	2.67	6.02	2.71	1.50
2"	2.00	2.41	3.07	9.14	3.60	1.73
2 1/2"	2.00	3.03	3.86	18.29	5.76	2.18
3"	2.00	3.66	4.66	32.11	8.43	2.62
2"	3.00	3.54	4.51	12.92	5.09	1.69
2 1/2"	3.00	4.48	5.70	26.15	8.24	2.14
3"	3.00	5.42	6.90	46.29	12.15	2.59

**Fuente:** DIPAC.

### Anexo 3. Diámetros y áreas roscas métricas de paso grueso y fino

**Tabla 21.** Diámetros y pares de roscas métricas de paso grueso y fino.

Diámetro mayor nominal d, mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5.5	2030	1920	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1.5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

**Tabla 22.** Dimensiones de roscas hexagonales.

Tamaño nominal, mm	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa ranurada	Contratuercas
<b>M5</b>	8	4.7	5.1	2.7
<b>M6</b>	10	5.2	5.7	3.2
<b>M8</b>	13	6.8	7.5	4.0
<b>M10</b>	16	8.4	9.3	5.0
<b>M12</b>	18	10.8	12.0	6.0
<b>M14</b>	21	12.8	14.1	7.0
<b>M16</b>	24	14.8	16.4	8.0
<b>M20</b>	30	18.0	20.3	10.0
<b>M24</b>	36	21.5	23.6	12.0
<b>M30</b>	46	25.6	28.6	15.0
<b>M36</b>	55	31.0	34.7	18.0

Fuente: (Budynas &amp; Nisbett, 2008)

**Tabla 23.** Clases métricas de propiedades mecánicas de pernos

Marca en la cabeza	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, MPa	Resistencia mínima a la tensión, MPa	Resistencia mínima a la fluencia, MPa	Material
<b>4.6</b>	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono
<b>4.8</b>	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono
<b>5.8</b>	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono
<b>8.8</b>	M1.6-M16	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R
<b>9.8</b>	M1.6-M26	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R
<b>10.9</b>	M5-M36	830	1040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R
<b>12.9</b>	M1.6-M36	970	1220	1100	Acero Aleado, T y R

Fuente: (Budynas &amp; Nisbett, 2008).

## Anexo 4. Características de la plancha de acero negro


**Tabla 24.** Características de la plancha de acero al carbono laminado en frío.

Descripción	Pruebas Mecánicas				Prueba de Flexibilidad		
	Resistencia mecánica psi (kgf/mm <sup>2</sup> )	Punto de Fluencia psi (kgf/mm <sup>2</sup> ) min	Elongación		Espesor en (mm)	Ángulo de doblado	Radio de Diámetro del espesor de la muestra
			Muestra in (mm)	% min			
Grade A	58.00 (40.8) – 71.000 (49.9)	32.00 (22.5)	GL=8(200) GL=2(50)	21 24	¾(19.1) y menores Sobre ¾ to 1 ¼ (31.8), incl. Sobre 1 ¼	180°	3 3 3
Grade B							
Grade C							
Grade CS							
Grade E							
Grade R							

Fuente: DIPAC.

## Anexo 5. Catálogos de insumos eléctricos

**Tabla 25.** Catálogo de interruptores termo magnéticos

Número de catálogo	Modelo	N° de Polos	Capacidad Amp	Capacidad de cortocircuito en KA rms				Residencial TQC
				120 VAC	240 VAC	480 VAC	600 VAC	
IN27I1015	TQC1215W L	1	15	10	10	-	-	
IN27I1020	TQC1220W L	1	20	10	10	-	-	
IN27I1030	TQC1230W L	1	30	10	10	-	-	
IN27I1040	TQC1240W L	1	40	10	10	-	-	
IN27I1050	TQC1250W L	1	50	10	10	-	-	
IN27I1060	TQC1260W L	1	60	10	10	-	-	
IN27I1070	TQC1270W L	1	70	10	10	-	-	
IN27I2015	TQC2415W L	2	15	10	-	-	-	
IN27I2020	TQC2420W L	2	20	10	-	-	-	
IN27I2030	TQC2430W L	2	30	10	-	-	-	
IN27I2040	TQC2440W L	2	40	10	-	-	-	
IN27I2050	TQC2450W L	2	50	10	-	-	-	
IN27I2060	TQC2460W L	2	60	10	-	-	-	
IN27I2070	TQC2470W L	2	70	10	-	-	-	
IN27I2090	TQC2490W L	2	90	10	-	-	-	
IN27I2100	TQC24100 WL	2	100	10	-	-	-	
IN27I3015	TQC34015 WL	3	15	-	10	-	-	

IN27I3020	TQC34020 WL	3	20	-	10	-	-
IN27I3030	TQC34030 WL	3	30	-	10	-	-
IN27I3040	TQC34040 WL	3	40	-	10	-	-
IN27I3050	TQC34050 WL	3	50	-	10	-	-
IN27I3060	TQC34060 WL	3	60	-	10	-	-
IN27I3070	TQC34070 WL	3	70	-	10	-	-
IN27I3090	TQC34090 WL	3	90	-	10	-	-
IN27I3100	TQC34100 WL	3	100	-	10	-	-

Fuente: DIPAC

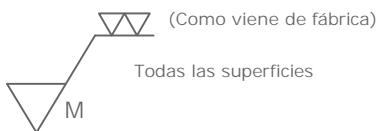
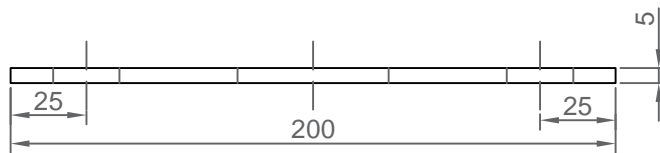
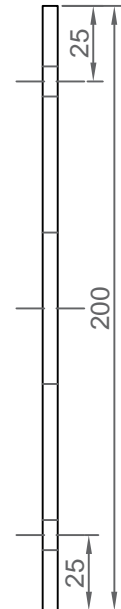
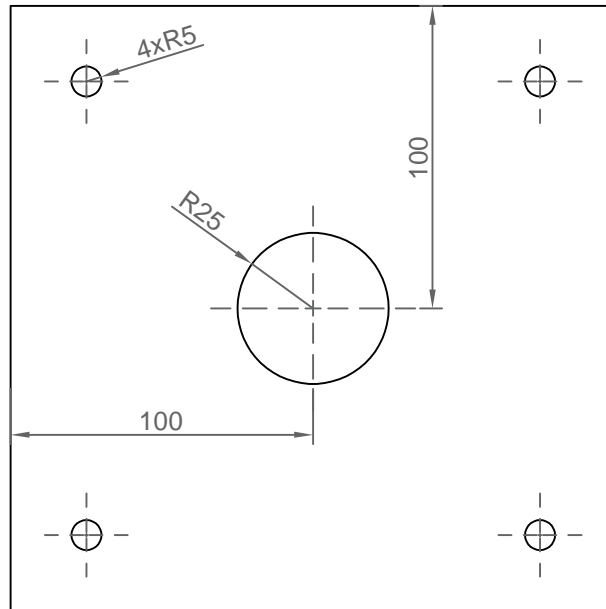
**Anexo 6.** Lámpara comercial disponible en el mercado



**PARTPHONER** Poste de lámpara para exteriores de 3 cabezales, poste de luz negro clásico con paneles de vidrio transparente, base E26 máximo 75 W x 3 bombillas, luz de calle impermeable para patio trasero, jardín, entrada

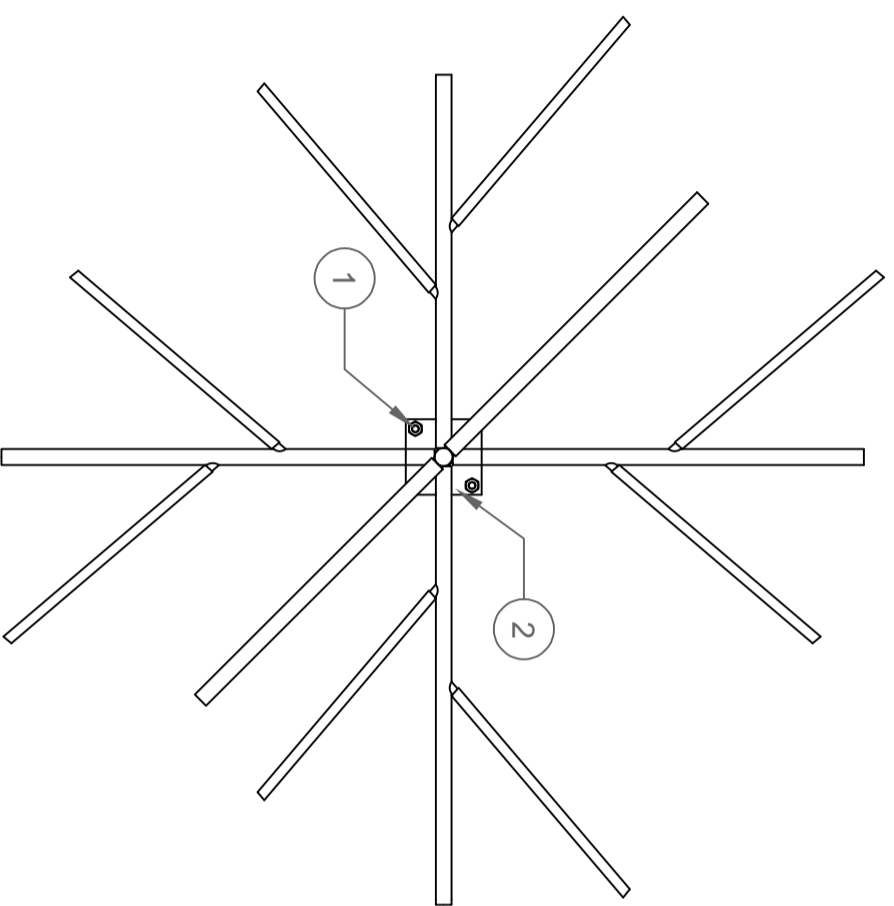
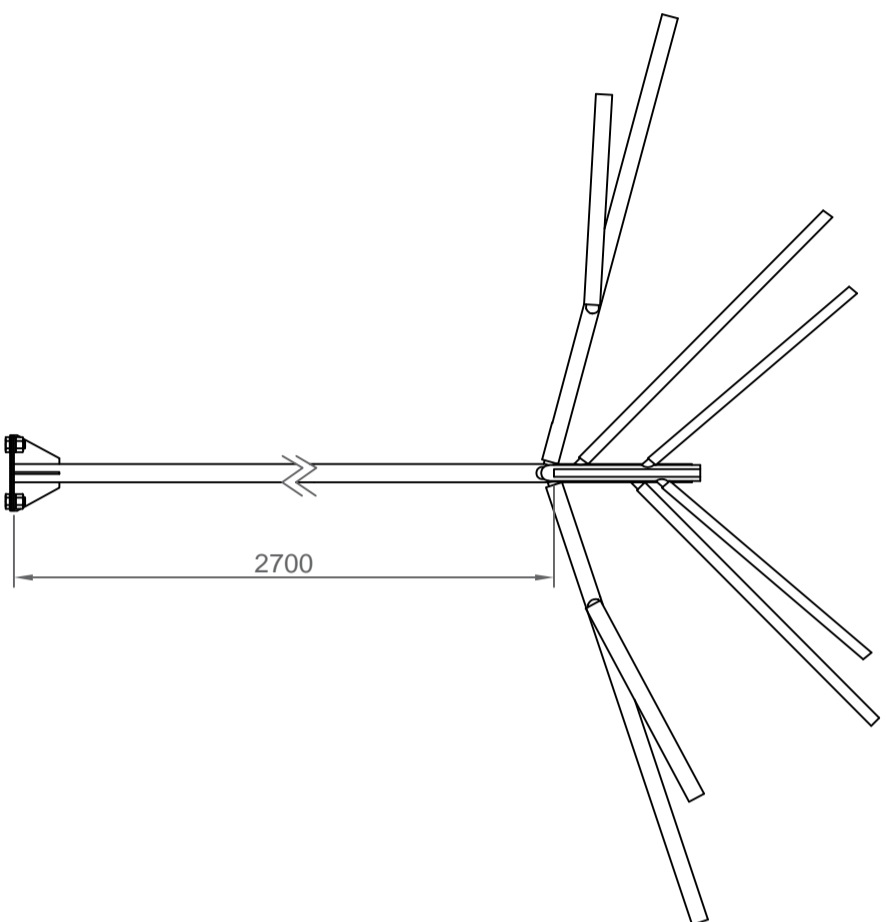
US\$ 300.00

**Anexo 7.** Planos del proyecto.



				Ajustes y tolerancias: +0.2 -0.2 En todas las superficies		<b>Material:</b> Plancha ASTM A131	<b>PESO:</b>	
						<b>Acabado:</b> Acero al carbono		
						<b>DENOMINACIÓN:</b>		<b>ESCALA:</b>  1 : 2.5
						Base del árbol		
						<b>CÓDIGO:</b>	01.01.01	
<b>EDI:</b>	<b>MODIFI:</b>	<b>FECH:</b>	<b>NOMB:</b>					





POS.	CANT.	DENOMINACION.	CODIGO.	NORMA.	MATERIAL.	OBSERVACION.
8	8	Rama secundaria	01.01.07	API 5L	ASTM A53	-----
7	8	Union de la rama con la rama secundaria	01.01.06	API 5L	ASTM A53	-----
6	6	Rama primaria	01.01.05	API 5L	ASTM A53	-----
5	6	Union de la rama con el tronco	01.01.04	API 5L	ASTM A53	-----
4	1	Tronco	01.01.03	API 5L	ASTM A54	-----
3	4	Aletas	01.01.02	INEN 115	ASTM A131	-----
2	2	Base del arbol	01.01.01	INEN 115	ASTM A131	-----
1	4	Perno 4M202550 con tuerca y arandela		-----	ANSI B1.1	-----

**TOLERANCIA:**

**MATERIAL:**  
Varios

**PESO:**



**FECHA:**

**DENOMINACIÓN:**  
Arbol Schizolobium

**ESCALA:**  
1:20

**DIBUJÓ:**

Bryan Alberca

Arbol Schizolobium

**REVISÓ:**

Ing. Jorge Carrión

parahybum

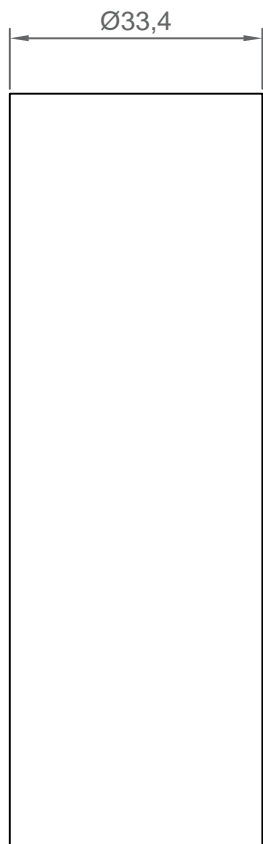
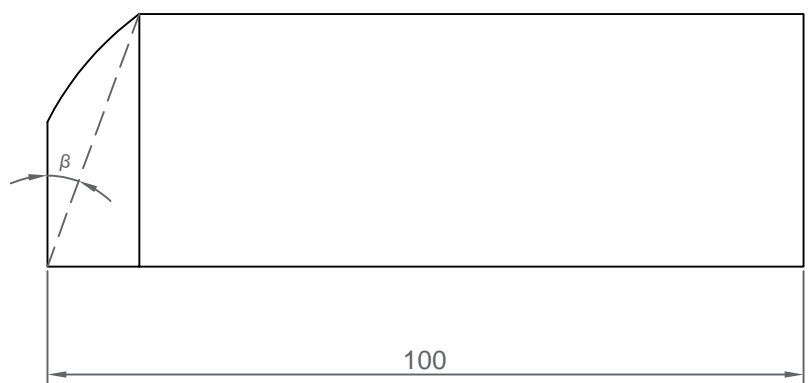
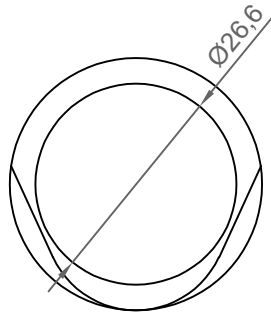
**APROBÓ:**

Ing. Jorge Carrión

(Pachaco)

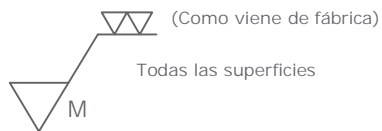
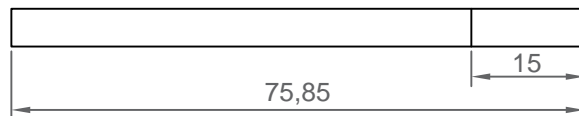
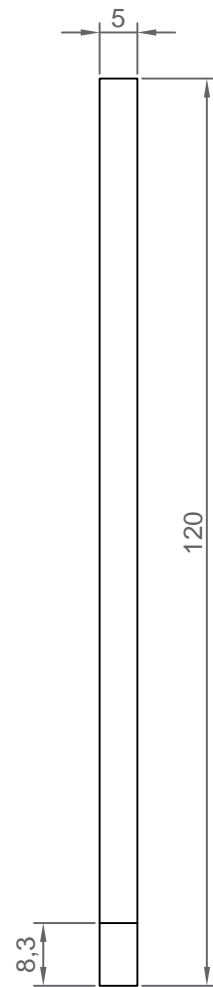
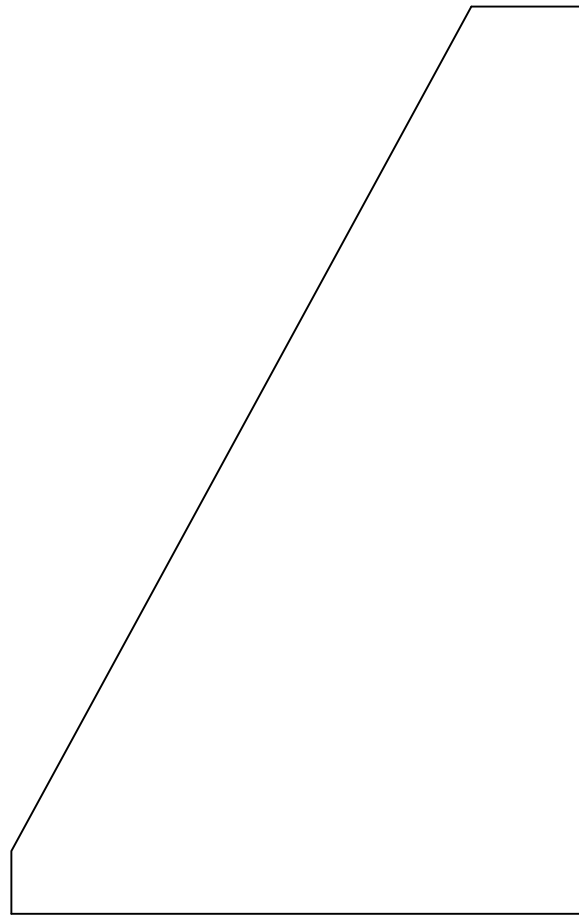
EDI: MODIFI: FECH: NOMB:

CÓDIGO: 01.00.00

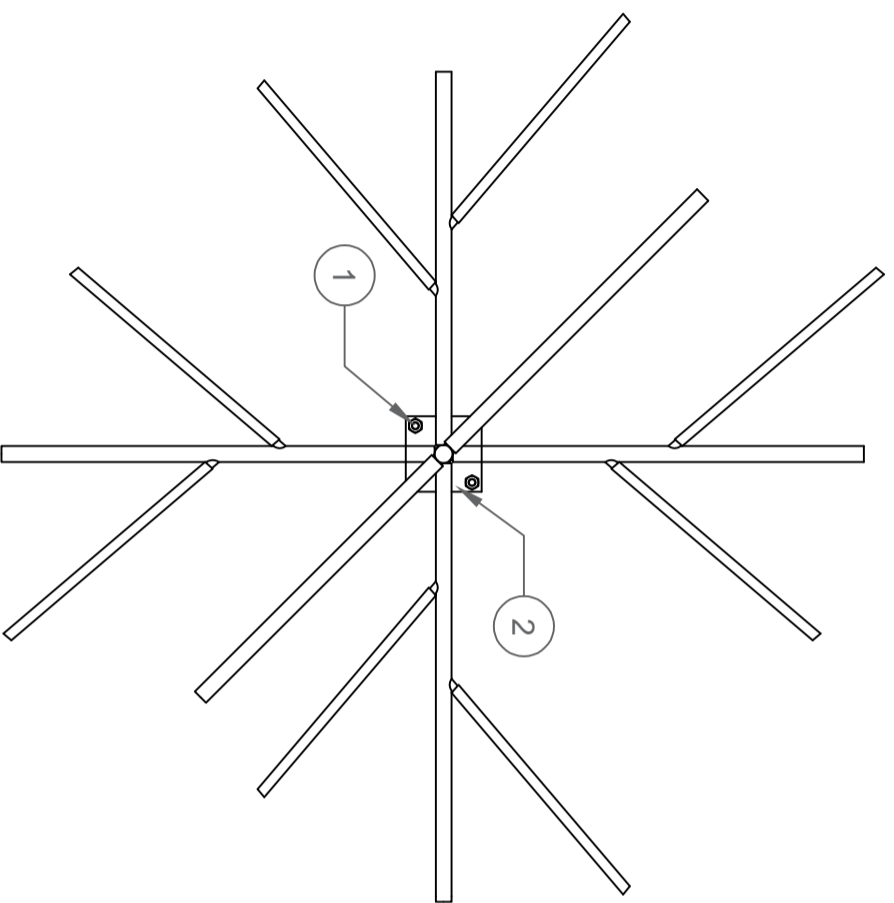
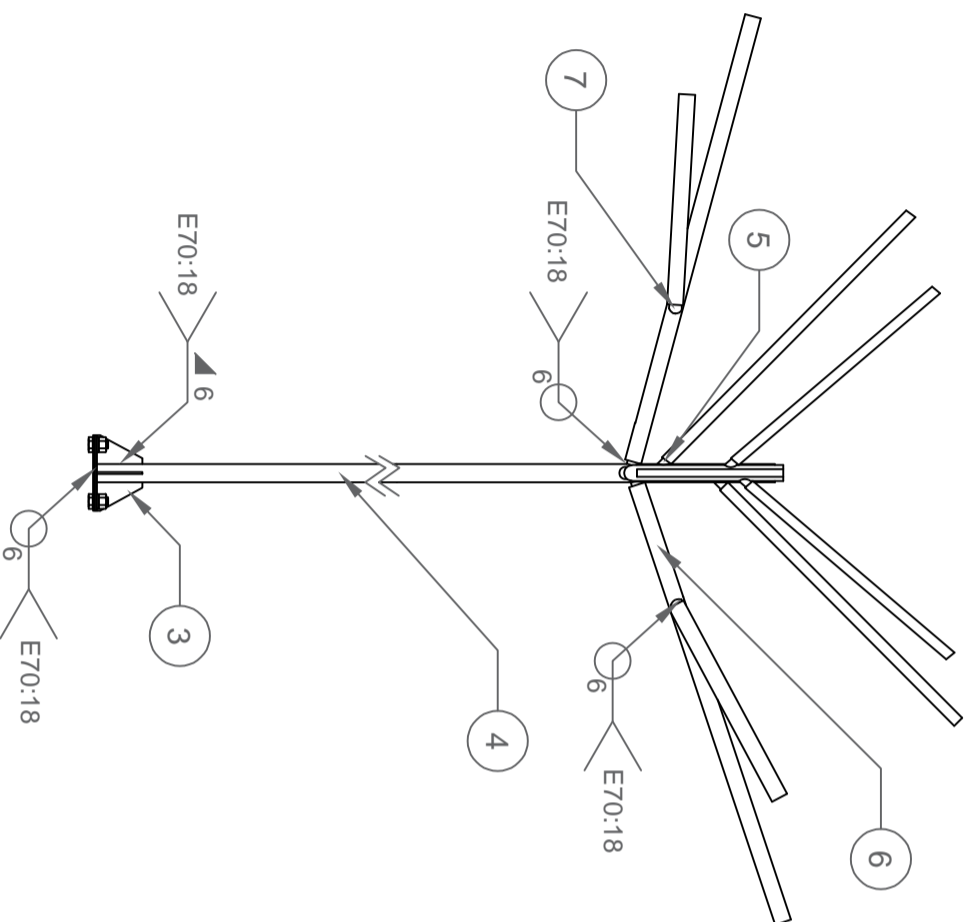


Nu	$\beta$	L
1	20°	2600
2	15°	2620
3	36°	2700
4	27°	2630
5	18°	2610
6	25°	2850

				Ajustes y tolerancias: +0.2 -0.2 En todas las superficies		<b>Material:</b> Tubo cédula 40 ASTM A53  <b>Acabado:</b> Acero negro	<b>PESO:</b>
						<b>FECHA:</b> <b>DIBUJÓ:</b> 19/06/20 Bryan Alberca <b>REVISÓ:</b> 22/06/20 Ing. Jorge Carrión <b>APROBÓ:</b> 23/07/20 Ing. Jorge Carrión	<b>DENOMINACIÓN:</b> Unión de la rama con el tronco
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:			<b>CÓDIGO:</b>	01.01.04



				Ajustes y tolerancias: +0.2 -0.2 En todas las superficies		<b>Material:</b> Plancha ASTM A131	<b>PESO:</b>	
						<b>Acabado:</b> Acero al carbono		
						<b>DENOMINACIÓN:</b> Aletas		<b>ESCALA:</b> 1 : 1
						<b>CÓDIGO:</b>		
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:					



POSICION	CANT.	DENOMINACION.	CODIGO.	NORMA.	MATERIAL.	OBSERVACION.
8	8	Union de la rama con la rama secundaria	01.01.07	API 5L	ASTM A53	-----
7	8	Union de la rama con la rama secundaria	01.01.06	API 5L	ASTM A53	-----
6	6	Rama primaria	01.01.05	API 5L	ASTM A53	-----
5	6	Union de la rama con el tronco	01.01.04	API 5L	ASTM A53	-----
4	1	Tronco	01.01.03	API 5L	ASTM A54	-----
3	4	Aletas	01.01.02	INEN 115	ASTM A131	-----
2	2	Base del árbol	01.01.01	INEN 115	ASTM A131	-----
1	4	Perno 4M202550 con tuerca y arandela		-----	ANSI B1.1	-----



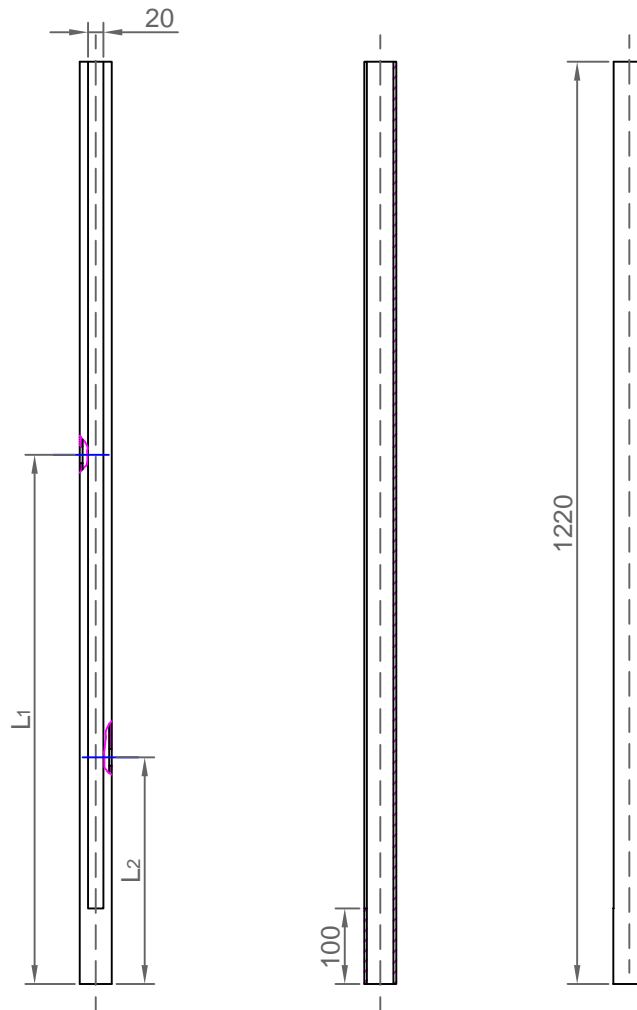
**TOLERANCIA:**  
Varios

**MATERIAL:**  
Varios

**PESO:**

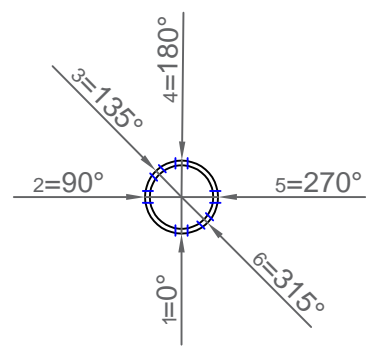
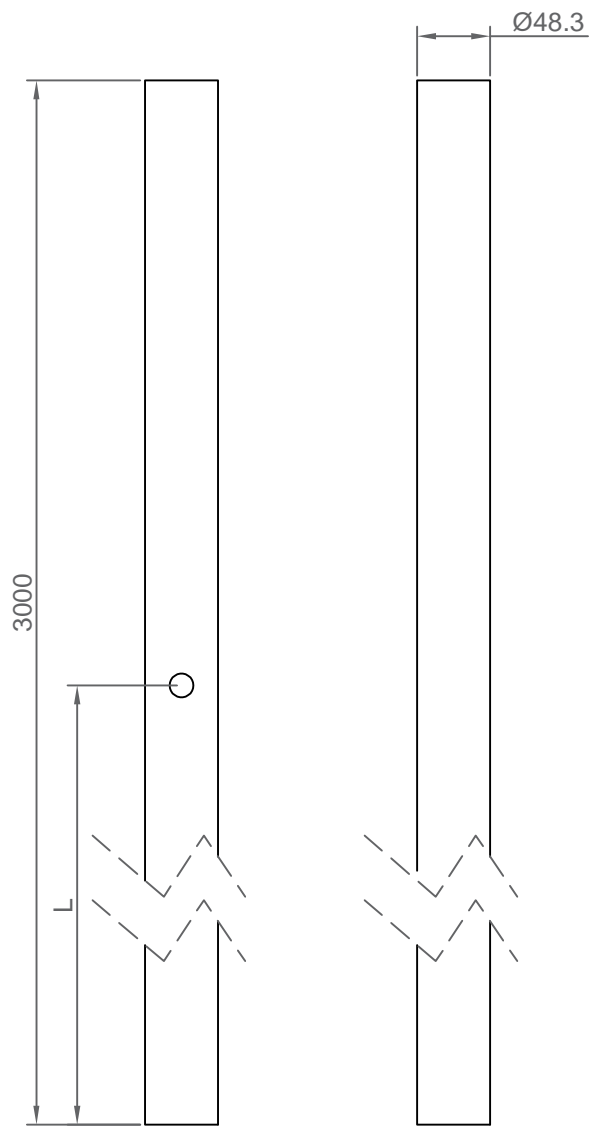
FECHA:	NOMBRE:	DENOMINACION:	ESCALA:
	Bryan Alberca	Arbol Schizolobium	1:20
	Ing. Jorge Carrion	parahybum	
	Ing. Jorge Carrion	(Pachaco)	

EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	CODIGO:
				01.00.00



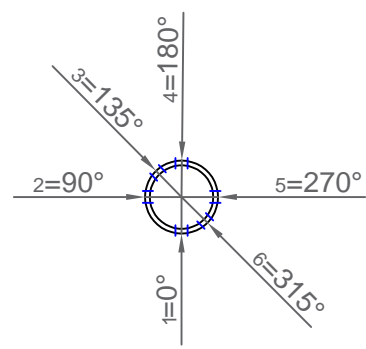
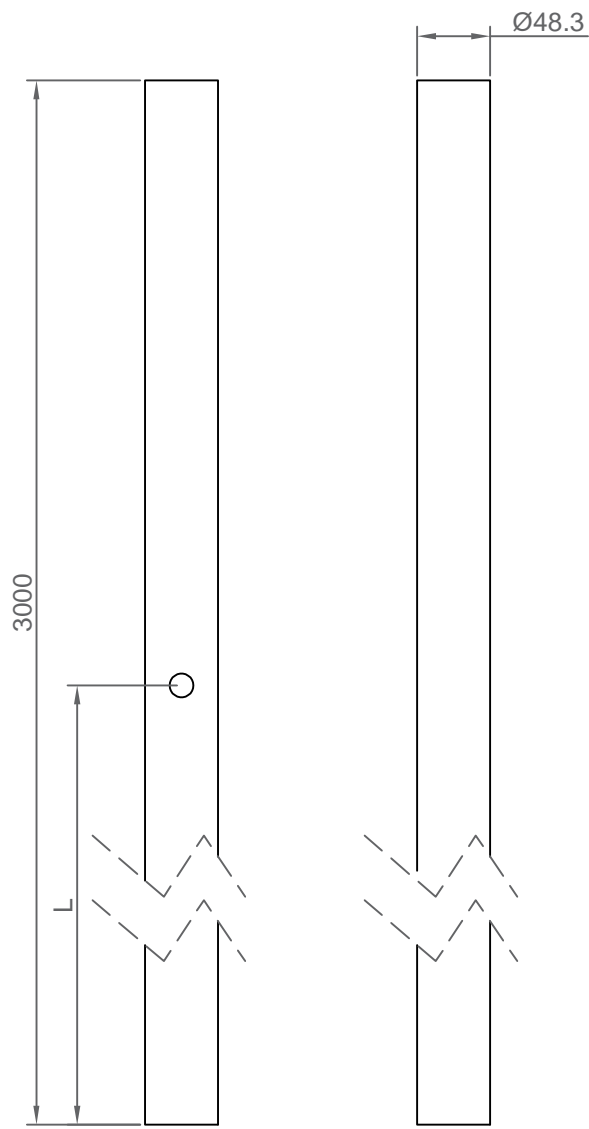
Nu		L <sub>1</sub> /L <sub>2</sub>	Ø
1	50°	300	22
	50°	700	22
2	50°	200	22
	50°	600	22
4	50°	250	22
	50°	650	22
5	50°	400	22
	50°	700	22

				Ajustes y tolerancias: +0.2 -0.2 En todas las superficies		<b>Material:</b> Tubo cédula 40 ASTM A53 <b>Acabado:</b> Acero negro	<b>PESO:</b>
				<b>FECHA:</b>	<b>NOMBRE:</b>	<b>DENOMINACIÓN:</b>	<b>ESCALA:</b>
				DIBUJÓ:	Bryan Alberca	Rama primaria	1 : 10
				REVISÓ:	Ing. Jorge Carrión		
				APROBÓ:	Ing. Jorge Carrión		
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:			<b>CÓDIGO:</b>	01.01.05



Nu		L	Ø
1	0°	2600	22
2	90°	2620	22
3	135°	2700	22
4	180°	2630	22
5	270°	2610	22
6	315°	2850	22

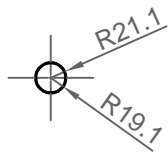
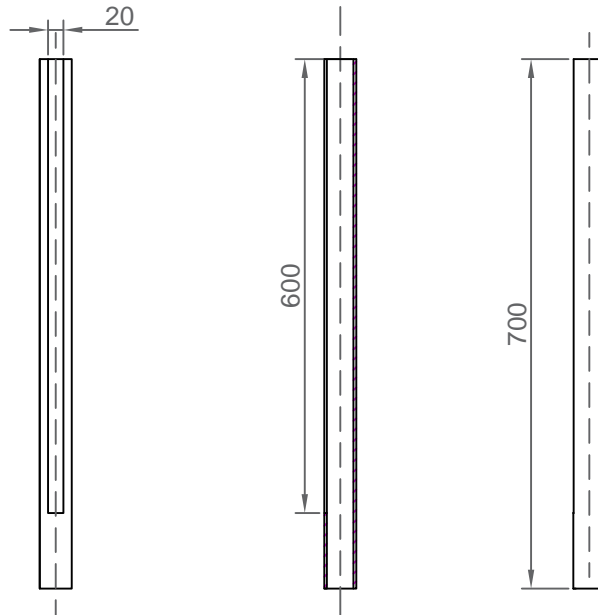
				Ajustes y tolerancias: +0.2 -0.2 En todas las superficies		<b>Material:</b> Tubo cédula 40 ASTM A54	<b>PESO:</b>
						<b>Acabado:</b> Acero negro	
						<b>DENOMINACIÓN:</b> Tronco	<b>ESCALA:</b> 1 : 5
						<b>CÓDIGO:</b>	
<b>FECHA:</b> DIBUJÓ: 19/06/20 REVISÓ: 22/06/20 APROBÓ: 23/07/20				<b>NOMBRE:</b> Bryan Alberca Ing. Jorge Carrión Ing. Jorge Carrión			
EDI: MODIFI: FECH: NOMB:							



Nu		L	Ø
1	0°	2600	22
2	90°	2620	22
3	135°	2700	22
4	180°	2630	22
5	270°	2610	22
6	315°	2850	22

				Ajustes y tolerancias: +0.2 -0.2 En todas las superficies		<b>Material:</b> Tubo cédula 40 ASTM A54	<b>PESO:</b>
						<b>Acabado:</b> Acero negro	
						<b>DENOMINACIÓN:</b> Tronco	<b>ESCALA:</b> 1 : 5
						<b>CÓDIGO:</b>	
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:				

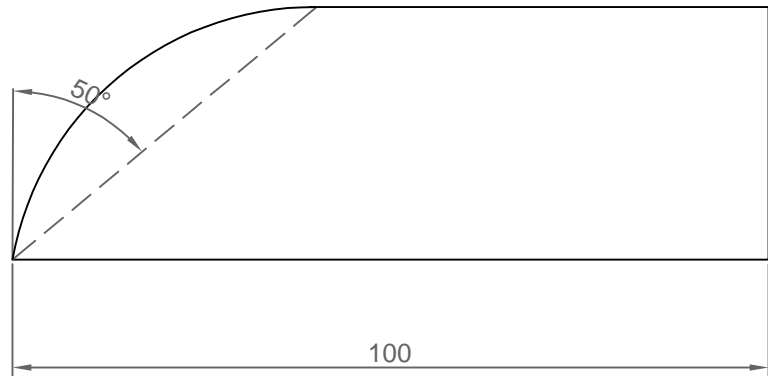
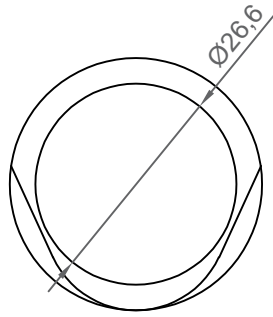
	FECHA:	NOMBRE:
DIBUJÓ:	19/06/20	Bryan Alberca
REVISÓ:	22/06/20	Ing. Jorge Carrión
APROBÓ:	23/07/20	Ing. Jorge Carrión



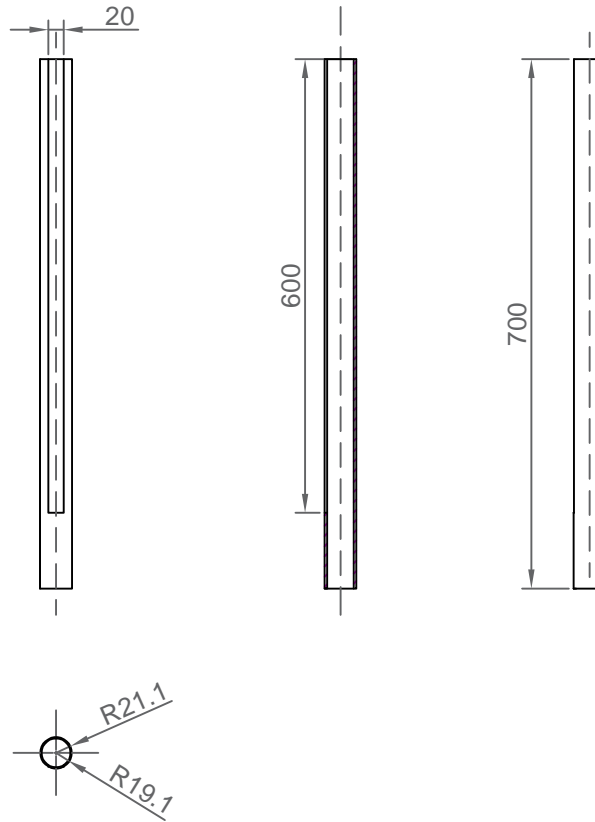
Nu
3
6

				Ajustes y tolerancias: +0.2 -0.2 En todas las superficies		<b>Material:</b> Tubo cédula 40 ASTM A53 <b>Acabado:</b> Acero negro	<b>PESO:</b>		
						<b>FECHA:</b>	<b>NOMBRE:</b>	<b>DENOMINACIÓN:</b>	<b>ESCALA:</b>
			DIBUJÓ:			Bryan Alberca	Rama primaria	1 : 10	
			REVISÓ:			Ing. Jorge Carrión			
			APROBÓ:	Ing. Jorge Carrión					
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:			<b>CÓDIGO:</b>	01.06.01		

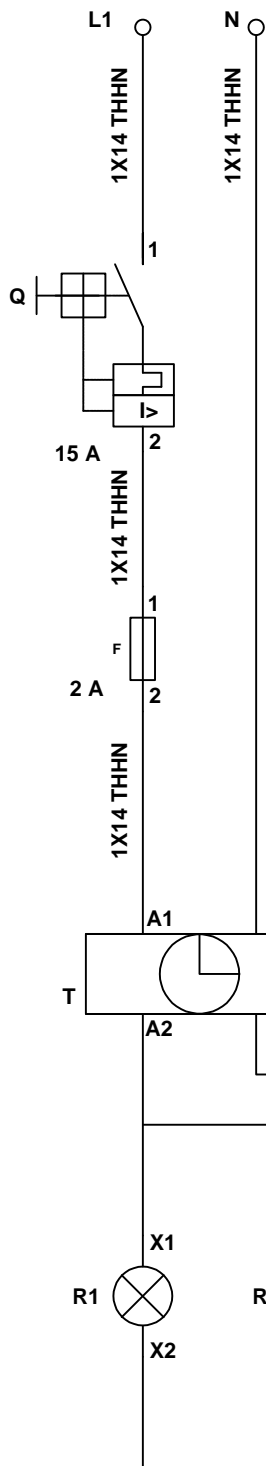




				Ajustes y tolerancias: +0.2 -0.2 En todas las superficies		<b>Material:</b> Tubo cédula 40 ASTM A53	<b>PESO:</b>		
						<b>Acabado:</b> Acero negro			
						<b>FECHA:</b>	<b>NOMBRE:</b>	<b>DENOMINACIÓN:</b> Union de la rama con la rama secundaria	<b>ESCALA:</b> 1 : 1
						<b>DIBUJÓ:</b> 19/06/20 Bryan Alberca			
				<b>REVISÓ:</b> 22/06/20 Ing. Jorge Carrión	<b>APROBÓ:</b> 23/07/20 Ing. Jorge Carrión				
						<b>CÓDIGO:</b>	01.01.06		
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:						



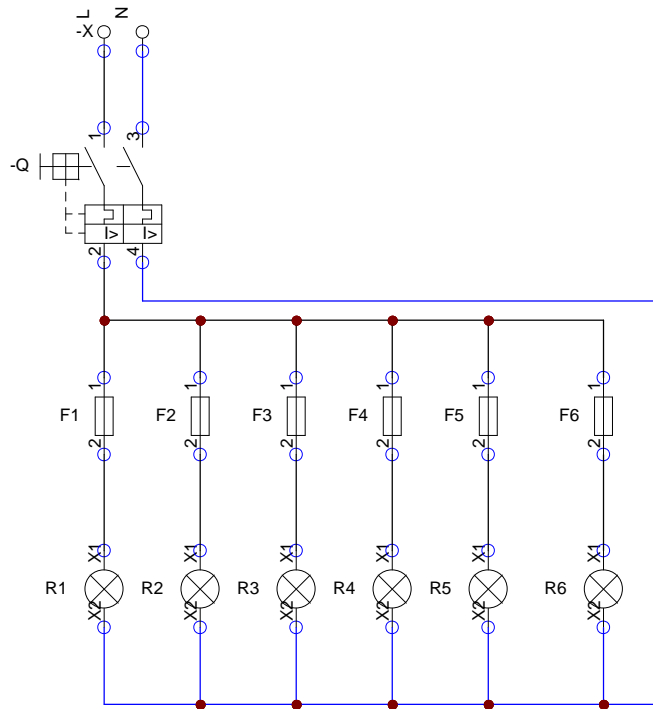
				Ajustes y tolerancias: +0.2 -0.2 En todas las superficies		<b>Material:</b> Tubo cédula 40 ASTM A53	<b>PESO:</b>		
						<b>Acabado:</b> Acero negro			
						<b>FECHA:</b>	<b>NOMBRE:</b> Bryan Alberca	<b>DENOMINACIÓN:</b>  Rama secundaria	<b>ESCALA:</b>  1 : 10
						<b>DIBUJÓ:</b>	Ing. Jorge Carrión		
				<b>REVISÓ:</b>	Ing. Jorge Carrión				
				<b>APROBÓ:</b>	Ing. Jorge Carrión	<b>CÓDIGO:</b>	01.01.07		
<b>EDI:</b>	<b>MODIFI:</b>	<b>FECH:</b>	<b>NOMB:</b>						



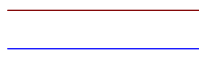
## Simbología

	<b>Breaker 1P 15 A</b>
	<b>Breaker 1P 15 A</b>
	<b>Fusible 2 A</b>
	<b>Temporizador KG316T CNC</b>

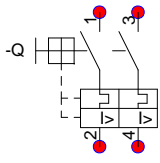
				Universidad Nacional de Loja  1859	Material Eléctrico: Varios	PESO:	
					FECHA:	NOMBRE:	DENOMINACIÓN:
					DIBUJÓ:	Bryan Alberca	Planos eléctricos
					REVISÓ:	Ing. Jorge Carrión	
				APROBÓ:	Ing. Jorge Carrión		
EDI:	MODIFI:	FECH:	NOMB:	Diseño y construcción de un prototipo de iluminación decorativa con tecnología LED		CÓDIGO:	
						01.01.08	



### SIMBOLOGÍA



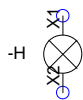
Conductor número 14 THHN



Breaker 15 A 2P



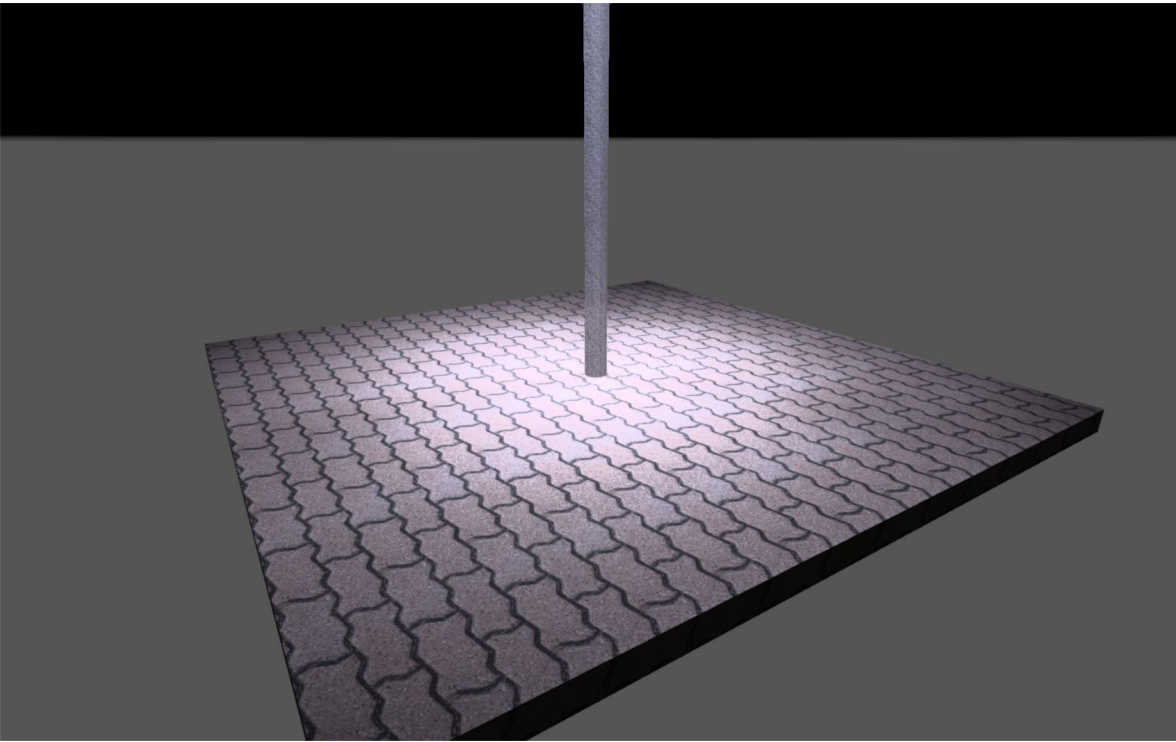
Fusible 0.5 A



Punto de iluminación

	Fecha	Nombre Firmas	Entidad
8	Dibujado 1/1/23	Bryan Alber	Universidad Nacional de L
	Comprobado 1/1/23	Dr. Carrió	
	Fecha: 20-Enr-2023	Título <b>Prototipo de iluminación</b>	
		Núm:	1 de 1
		Archivo:	Pachaco

**Anexo 8.** Simulación de la lámpara comercial en Dialux.



## Preface

Notes on planning:

The energy consumption quantities do not take into account light scenes and their dimming levels.

## Table of Contents

Cover .....	1
Preface .....	2
Table of Contents .....	3
Description .....	4
Luminaire list .....	5

## Product data sheets

Anolis - Ambiane HP111 Surface mount PW 4000K 20° (1x Ambiane HP111 PW 4000K 20°) .....	6
---	---

## Site 1

Luminaire layout plan .....	7
Luminaire list .....	9
Calculation objects / Light scene 1 .....	10

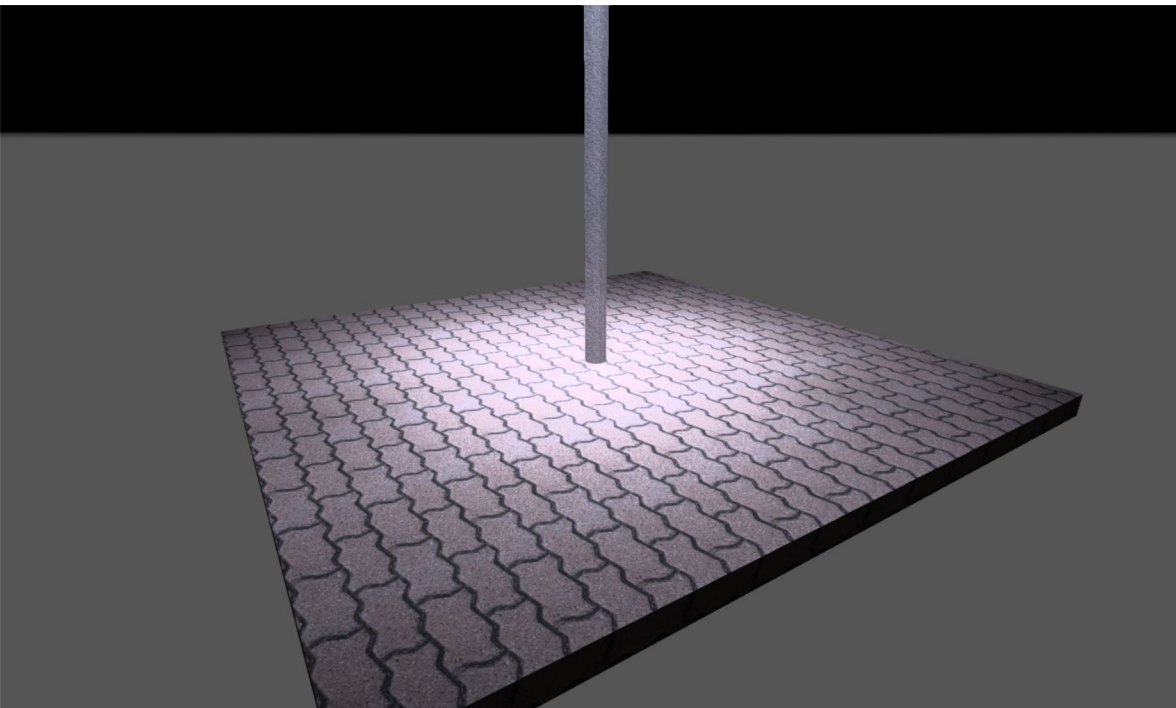
### Site 1

## Zona de emplazamiento

Summary / Light scene 1 .....	12
Luminaire layout plan .....	14
Luminaire list .....	16
Calculation objects / Light scene 1 .....	17
Working plane (Zona de emplazamiento) / Light scene 1 / Perpendicular illuminance (adaptive) .....	19
Calculation surface 1 / Light scene 1 / Perpendicular illuminance .....	20

Glossary .....	21
----------------	----





## Description

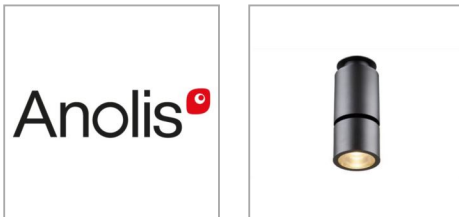
## Luminaire list

$\Phi_{total}$ 8820 lm	$P_{total}$ 225.0 W	Luminous efficacy 39.2 lm/W
---------------------------	------------------------	--------------------------------

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	$\Phi$	Luminous efficacy
3	Anolis	265	Ambiane HP111 Surface mount PW 4000K 20°	75.0 W	2937 lm	39.2 lm/W

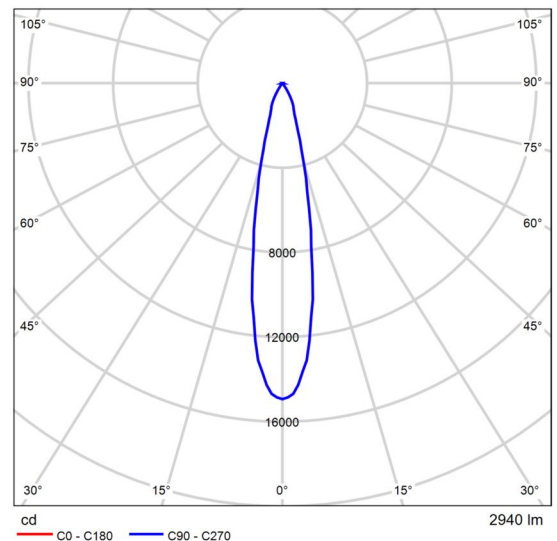
## Product data sheet

Anolis - Ambiane HP111 Surface mount PW 4000K 20°

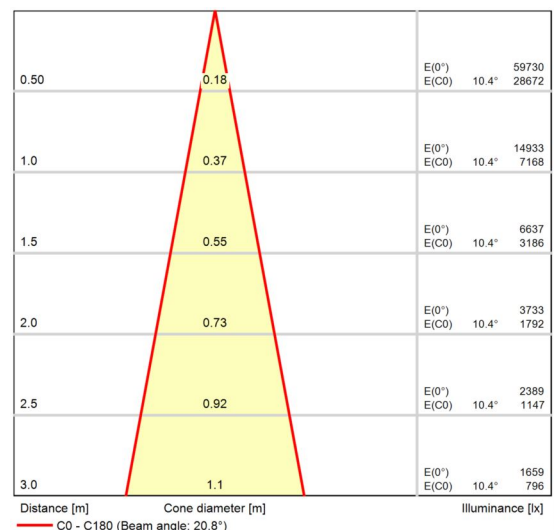


Article No.	265
P	75.0 W
$\Phi_{\text{Luminaire}}$	2937 lm
Luminous efficacy	39.2 lm/W
CCT	4000 K
CRI	90

Surface mount version of Ambiane is ideal for mid-throw application onto a levelled ceiling. Same light source specification hidden inside of the beautiful design makes this fixture an ideal add-on to lighting design of Ambiane series. Giving designers and installers a choice of 20, 40, 60 or 80-degree optical beam spreads, the Ambiane HP111 provides an endless array of positioning options across an entire installation. The incorporation of our L3 (Low Light Linearity) dimming system allows seamless fades to black even when mixed with traditional sources. With no UV or IR emissions which make it ideal for museums as well, the fixture is easily controlled via DMX or DALI and is RDM compatible.



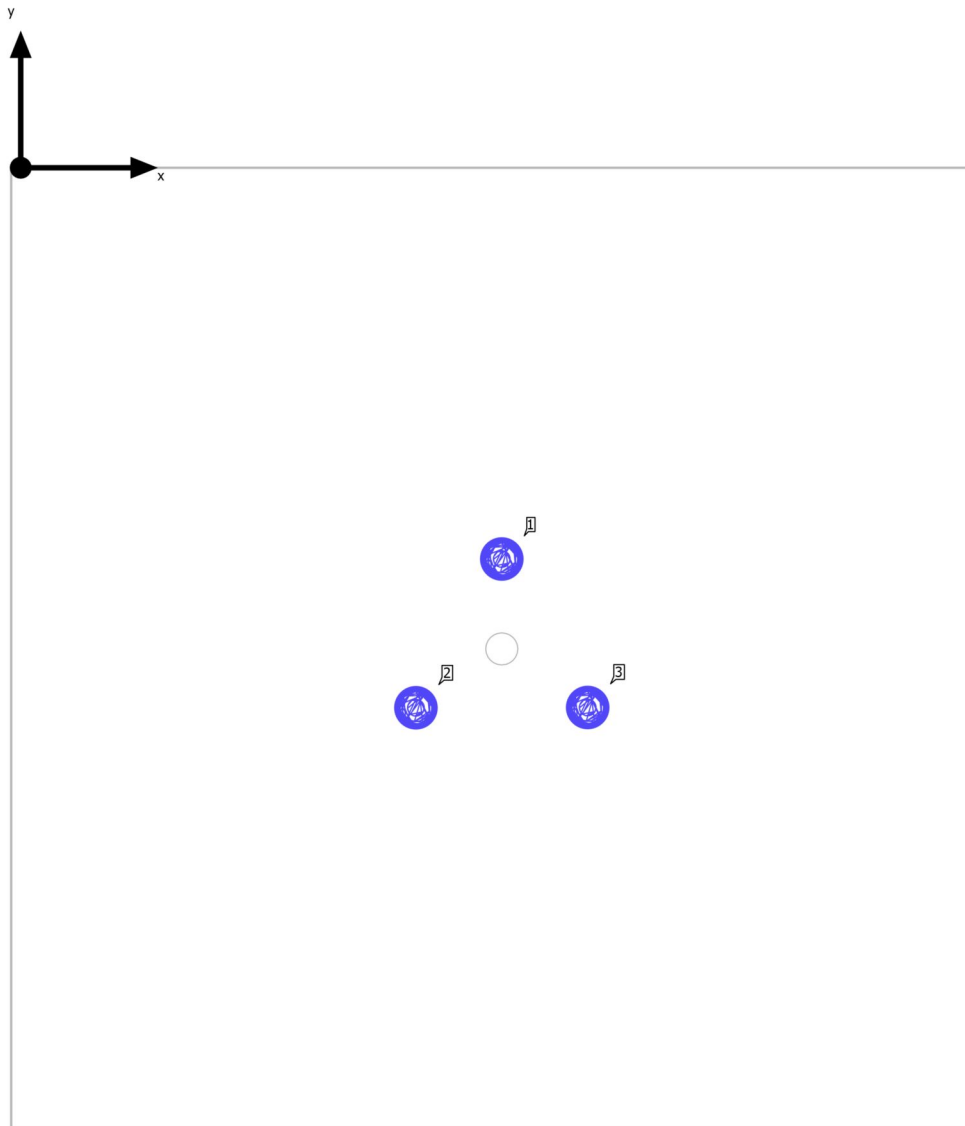
Polar LDC



Cone diagram

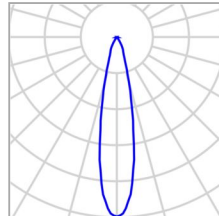
Site 1

## Luminaire layout plan



Site 1

## Luminaire layout plan



Manufacturer	Anolis	P	75.0 W
Article No.	265	Φ <sub>Luminaire</sub>	2937 lm
Article name	Ambiane HP111 Surface mount PW 4000K 20°		
Fitting	1x Ambiane HP111 PW 4000K 20°		

### Individual luminaires

X	Y	Mounting height	Luminaire
1.500 m	-1.220 m	3.200 m	1
1.232 m	-1.683 m	3.265 m	2
1.768 m	-1.683 m	3.179 m	3

Site 1

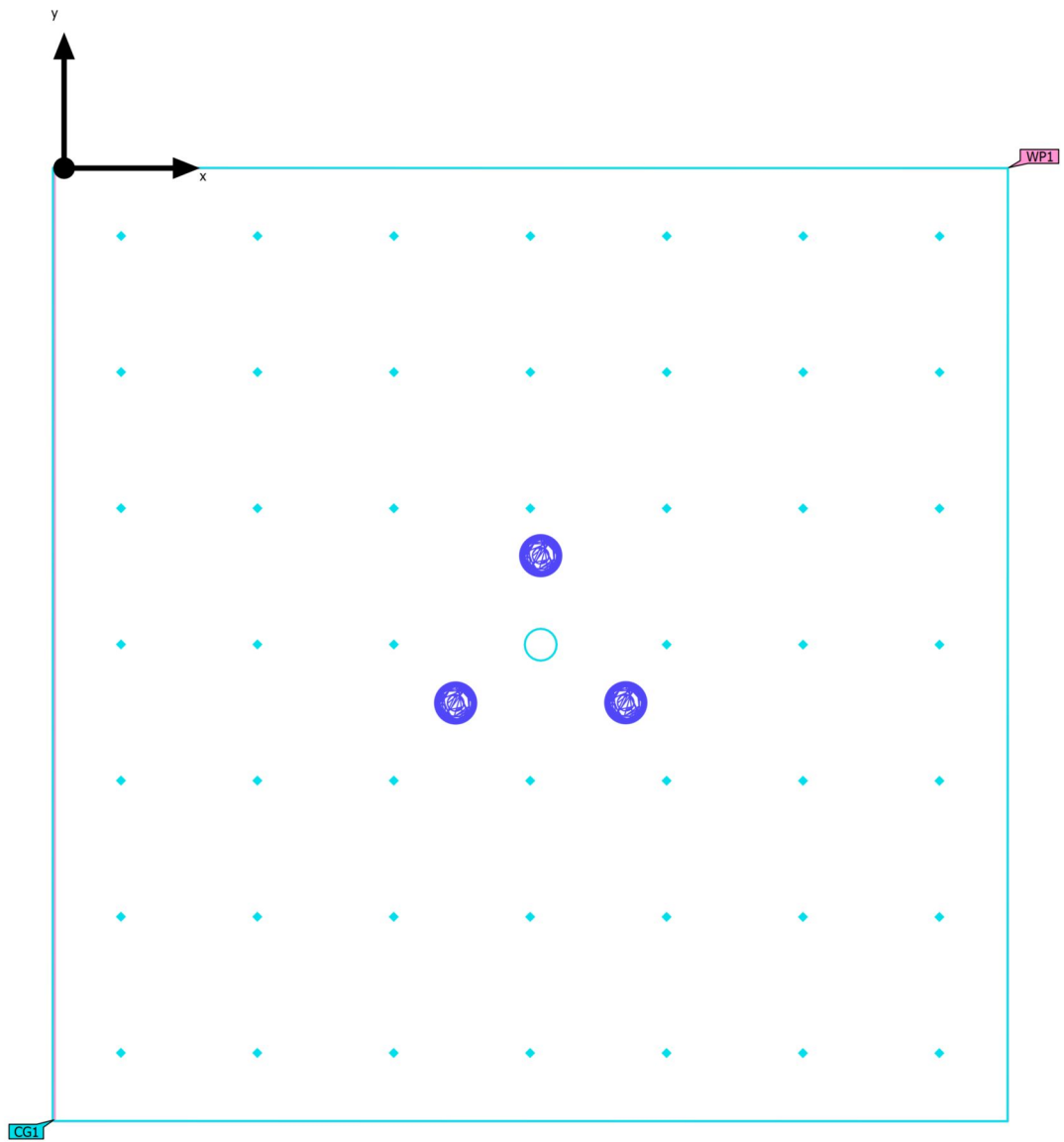
## Luminaire list

$\Phi_{total}$ 8820 lm	$P_{total}$ 225.0 W	Luminous efficacy 39.2 lm/W
---------------------------	------------------------	--------------------------------

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	$\Phi$	Luminous efficacy
3	Anolis	265	Ambiane HP111 Surface mount PW 4000K 20°	75.0 W	2937 lm	39.2 lm/W

Site 1 (Light scene 1)

## Calculation objects



Site 1 (Light scene 1)

## Calculation objects

### Working planes

Properties	$\bar{E}$ (Target)	$E_{min}$	$E_{max}$	$g_1$ (Target)	$g_2$	Index
Working plane (Zona de emplazamiento) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.000 m, Wall zone: 0.000 m	679 lx ( $\geq 5.00$ lx) ✓	30.8 lx	3282 lx	0.045 ( $\geq 0.25$ ) ✗	0.009	WP1

### Calculation surfaces

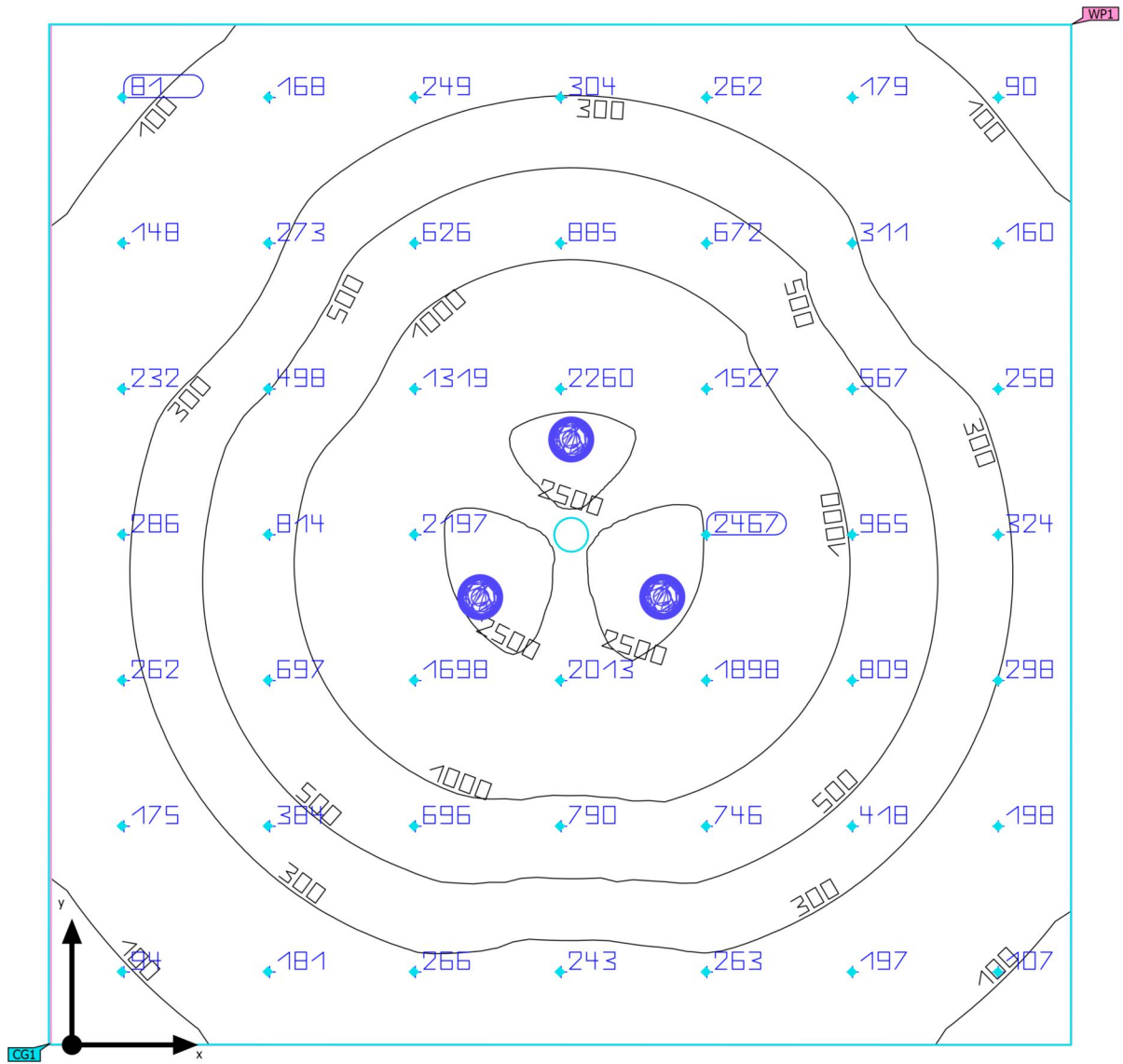
Properties	$\bar{E}$	$E_{min}$	$E_{max}$	$g_1$	$g_2$	Index
Calculation surface 1 Perpendicular illuminance Height: 0.000 m	636 lx	79.8 lx	2476 lx	0.13	0.032	CG1

Utilisation profile: DIALux presetting (5.1.4 Standard (outdoor transportation area))



Zona de emplazamiento (Light scene 1)

## Summary



Ground area	9.00 m <sup>2</sup>	Mounting height	3.179 m - 3.265 m
Maintenance factor	0.80 (fixed)	Height <sub>Working plane</sub>	0.000 m
		Wall zone <sub>Working plane</sub>	0.000 m

Zona de emplazamiento (Light scene 1)

## Summary

### Results

	Symbol	Calculated	Target	Check	Index
Working plane	$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	679 lx	$\geq 5.00$ lx	✓	WP1
	$g_1$	0.045	$\geq 0.25$	✗	WP1
Glare valuation <sup>(1)</sup>	$R_{UG, \text{max}}$	12	$\leq -1$	✗	
Energy estimation <sup>(2)</sup>	Consumption	1971 kWh/a	max. 350 kWh/a	✗	
Room	Lighting power density	25.00 W/m <sup>2</sup>	-		
		3.68 W/m <sup>2</sup> /100 lx	-		

(1) Based on a rectangular space of 3.000 m x 3.000 m and SHR of 0.25.

(2) Calculated using DIN:18599-4.

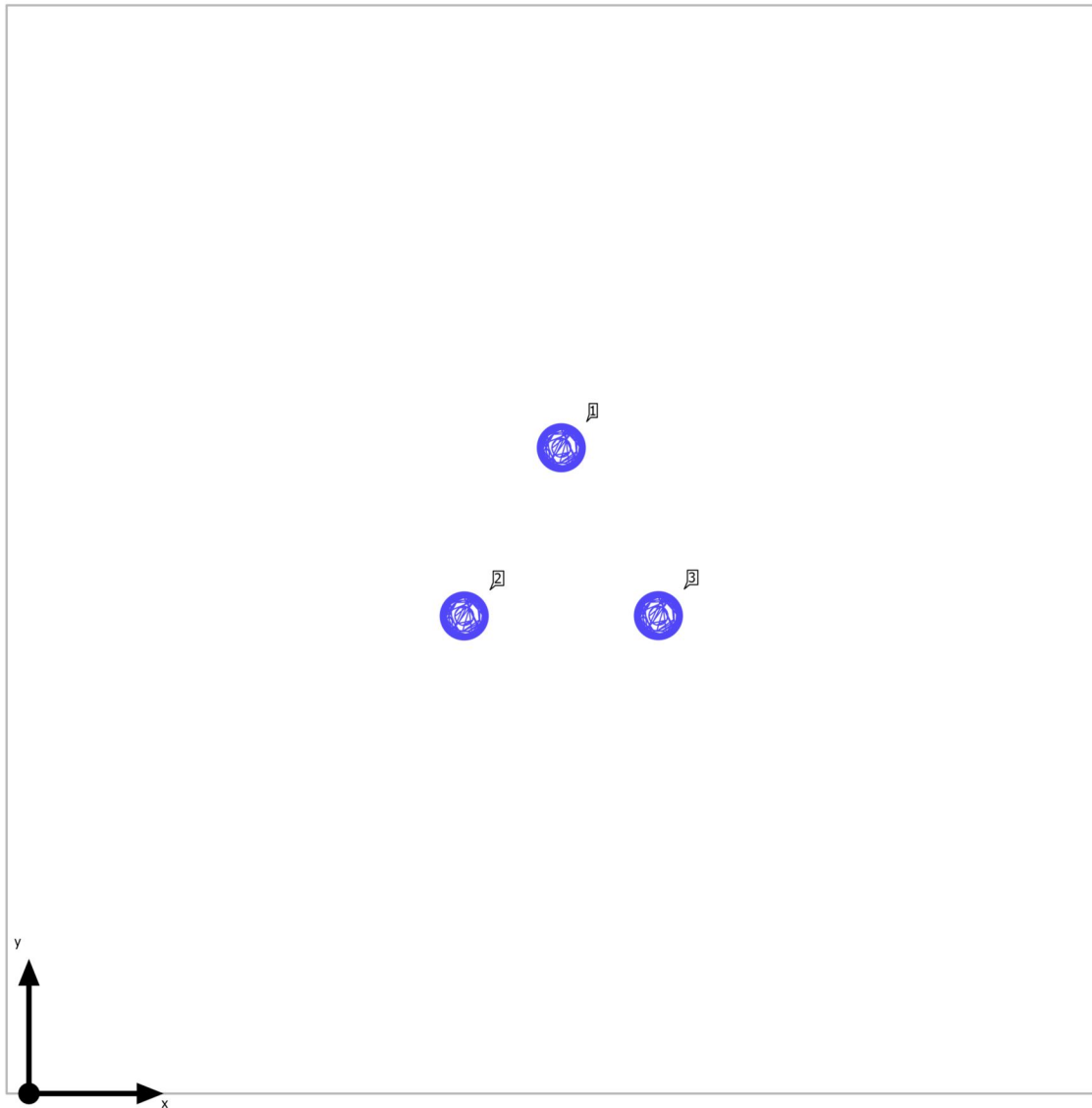
Utilisation profile: General circulation areas at outdoor workplaces (5.1.1 Walkways exclusively for pedestrians)

### Luminaire list

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	$R_{UG}$	P	$\Phi$	Luminous efficacy
3	Anolis	265	Ambiane HP111 Surface mount PW 4000K 20°	12	75.0 W	2937 lm	39.2 lm/W

Zona de emplazamiento

## Luminaire layout plan



Zona de emplazamiento

## Luminaire layout plan



Manufacturer	Anolis	P	75.0 W
Article No.	265	$\Phi_{\text{Luminaire}}$	2937 lm
Article name	Ambiane HP111 Surface mount PW 4000K 20°		
Fitting	1x Ambiane HP111 PW 4000K 20°		

### Individual luminaires

X	Y	Mounting height	Luminaire
1.468 m	1.780 m	3.200 m	1
1.200 m	1.317 m	3.265 m	2
1.736 m	1.317 m	3.179 m	3

Zona de emplazamiento

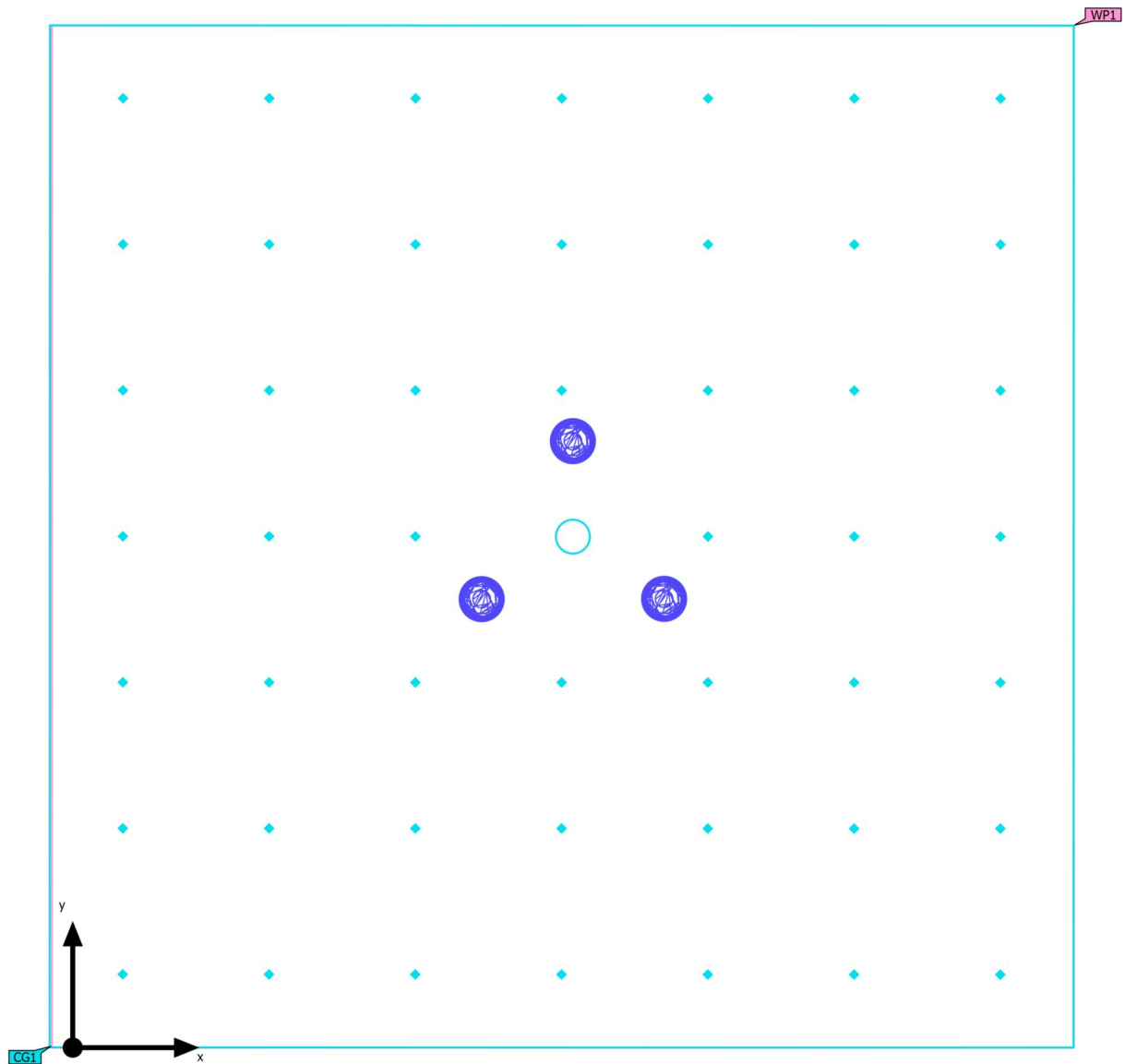
## Luminaire list

$\Phi_{total}$ 8820 lm	$P_{total}$ 225.0 W	Luminous efficacy 39.2 lm/W
---------------------------	------------------------	--------------------------------

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	$\Phi$	Luminous efficacy
3	Anolis	265	Ambiane HP111 Surface mount PW 4000K 20°	75.0 W	2937 lm	39.2 lm/W

Zona de emplazamiento (Light scene 1)

## Calculation objects



Zona de emplazamiento (Light scene 1)

## Calculation objects

Working planes

Properties	$\bar{E}$ (Target)	$E_{min}$	$E_{max}$	$g_1$ (Target)	$g_2$	Index
Working plane (Zona de emplazamiento) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.000 m, Wall zone: 0.000 m	679 lx ( $\geq 5.00$ lx) ✓	30.8 lx	3282 lx	0.045 ( $\geq 0.25$ ) ✗	0.009	WP1

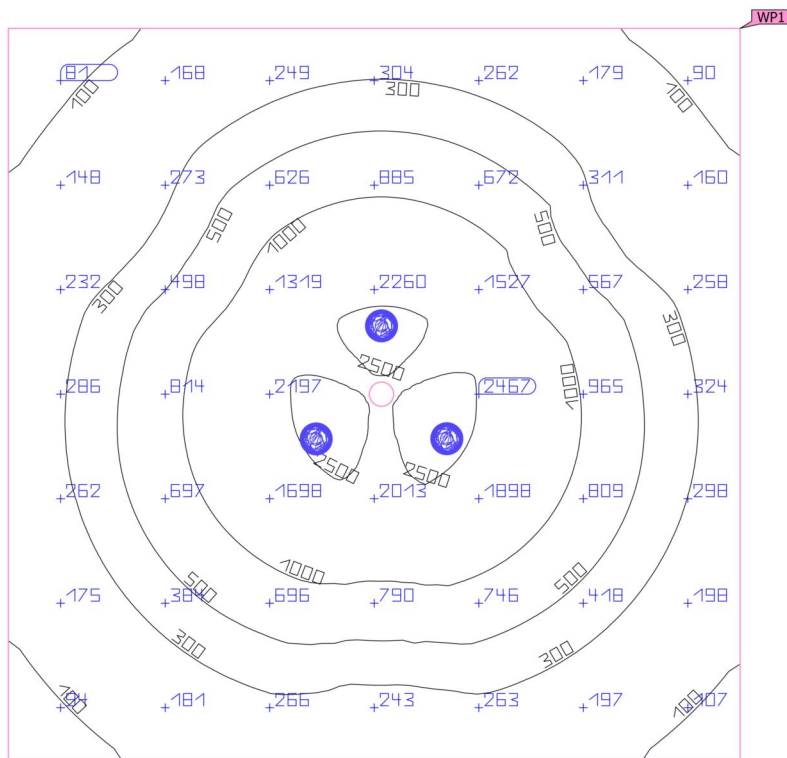
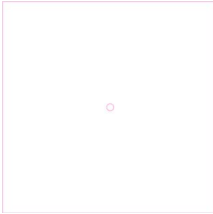
Calculation surfaces

Properties	$\bar{E}$	$E_{min}$	$E_{max}$	$g_1$	$g_2$	Index
Calculation surface 1 Perpendicular illuminance Height: 0.000 m	636 lx	79.8 lx	2476 lx	0.13	0.032	CG1

Utilisation profile: General circulation areas at outdoor workplaces (5.1.1 Walkways exclusively for pedestrians)

Zona de emplazamiento (Light scene 1)

## Working plane (Zona de emplazamiento)



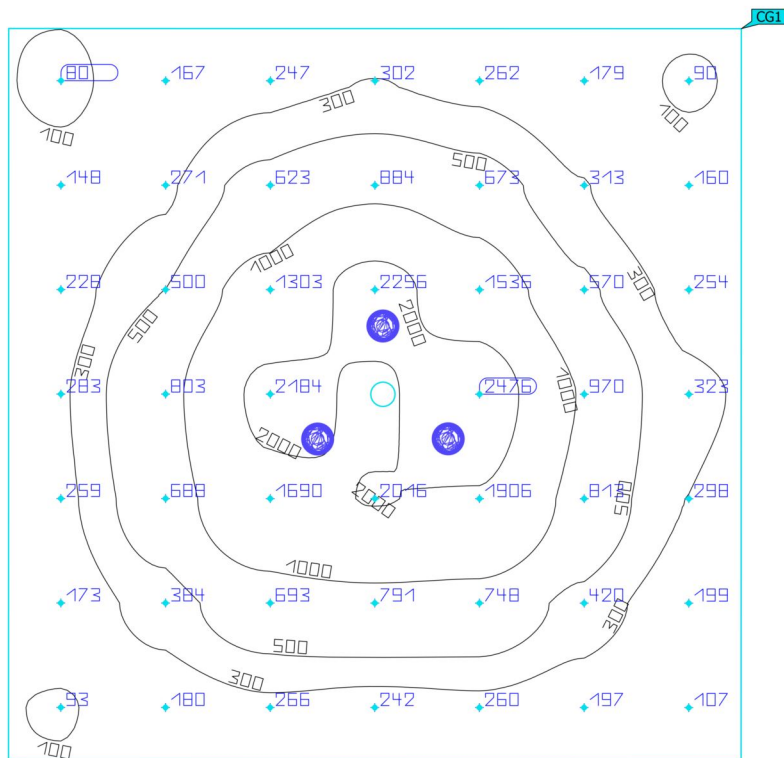
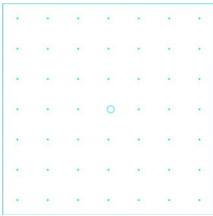
Properties	$\bar{E}$ (Target)	$E_{min}$	$E_{max}$	$g_1$ (Target)	$g_2$	Index
Working plane (Zona de emplazamiento) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.000 m, Wall zone: 0.000 m	679 lx ( $\geq 5.00$ lx) ✓	30.8 lx	3282 lx	0.045 ( $\geq 0.25$ ) ✗	0.009	WP1

Utilisation profile: General circulation areas at outdoor workplaces (5.1.1 Walkways exclusively for pedestrians)



Zona de emplazamiento (Light scene 1)

## Calculation surface 1



Properties	$\bar{E}$	$E_{min}$	$E_{max}$	$g_1$	$g_2$	Index
Calculation surface 1 Perpendicular illuminance Height: 0.000 m	636 lx	79.8 lx	2476 lx	0.13	0.032	CG1

Utilisation profile: General circulation areas at outdoor workplaces (5.1.1 Walkways exclusively for pedestrians)

## Glossary

A

A Formula symbol for a surface in the geometry

---

B

**Background area** The background area borders the direct ambient area according to DIN EN 12464-1 and reaches up to the borders of the room. In larger rooms, the background area is at least 3 m wide. It is located horizontally at floor level.

---

C

**CCT** (Engl. correlated colour temperature)  
 Body temperature of a thermal radiator which serves to describe its light colour. Unit: Kelvin [K]. The lesser the numerical value the redder; the greater the numerical value the bluer the light colour. The colour temperature of gas-discharge lamps and semi-conductors are termed "correlated colour temperature" in contrast to the colour temperature of thermal radiators.

Allocation of the light colours to the colour temperature ranges acc. to EN 12464-1:

Light colour - colour temperature [K]  
 warm white (ww) < 3,300 K  
 neutral white (nw) ≥ 3,300 – 5,300 K  
 daylight white (dw) > 5,300 K

---

**Clearance height** The designation for the distance between upper edge of the floor and bottom edge of the ceiling (in the completely furnished status of room).

---

**Control group** A group of luminaires that are dimmed and controlled together. For each lighting scene, a control group provides its own dimming value. All luminaires within a control group share this dimming value. The control groups with their luminaires are automatically determined by DIALux on the basis of the created light scenes and their luminaire groups.

---

**CRI** (Engl. colour rendering index)  
 Designation for the colour rendering index of a luminaire or a lamp acc. to DIN 6169: 1976 or CIE 13.3: 1995.

The general colour rendering index Ra (or CRI) is a dimensionless figure that describes the quality of a white light source in regards to its similarity with the remission spectra of defined 8 test colours (see DIN 6169 or CIE 1974) to a reference light source.

---

## Glossary

### D

Daylight autonomy	Describes what percentage of the daily working time the required illuminance is met by daylight. The nominal illuminance is used from the room profile, unlike described in EN 17037. The calculation is not done in the centre of the room but at the placed sensor measuring point. A room is considered sufficiently supplied with daylight if it achieves at least 50% daylight autonomy.
Daylight factor	Ratio of the illuminance achieved solely by daylight incidence at a point in the inside to the horizontal illuminance in the outer area under an unobstructed sky.  Formula symbol: D (Engl. daylight factor) Unit: %
Daylight quotient effective area	A calculation surface within which the daylight quotient is calculated.

### E

Energy evaluation	<p>Based on an hourly calculation procedure for daylight in indoor spaces, considering the project geometry and any existing daylight control systems. Orientation and location of the project are also considered. The calculation uses the specified system power of the luminaires to determine the energy demand. A linear relationship between power and luminous flux in the dimmed state is assumed for daylight-controlled luminaires. Times of use and nominal illuminance are determined from the usage profiles of the spaces. Switched-on luminaires that are explicitly excluded from control also consider the specified times-of-use. The daylight control systems use a simplified control logic that closes them at an outdoor horizontal illuminance of 27,500lx.</p> <p>The calendar year 2022 is used as a reference only. It is not a simulation of this year. The reference year is only used to assign the days of the week to the calculated results. The changeover to summer time is not considered. The reference sky type used is the average sky described in CIE 110 without direct sunlight.</p> <p>The method was developed together with the Fraunhofer Institute for Building Physics and is available for review by the Joint Working Group 1 ISO TC 274 as an extension of the previous annual regression-based method.</p>
Eta ( $\eta$ )	<p>(light output ratio) The light output ratio describes what percentage of the luminous flux of a free radiating lamp (or LED module) is emitted by the luminaire when installed.</p> <p>Unit: %</p>

## Glossary

### G

<b>g<sub>1</sub></b>	Often also U <sub>o</sub> (Engl. overall uniformity) Designates the overall uniformity of the illuminance on a surface. It is the quotient from E <sub>min</sub> to $\bar{E}$ and is required, for instance, in standards for illumination of workstations.
<b>g<sub>2</sub></b>	Actually it designates the "non-uniformity" of the illuminance on a surface. It is the quotient of E <sub>min</sub> to E <sub>max</sub> and is generally only relevant for certifying the emergency lighting acc. to EN 1838.

### I

<b>Illuminance</b>	Describes the ratio of the luminous flux that strikes a certain surface to the size of this surface ( $\text{lm}/\text{m}^2 = \text{lx}$ ). The illuminance is not tied to an object surface. It can be determined anywhere in space (inside or outside). The illuminance is not a product feature because it is a recipient value. Luxometers are used for measuring.  Unit: Lux Abbreviation: lx Formula symbol: E
<b>Illuminance, adaptive</b>	For the determining of the middle adaptive illuminance on a surface, this is rastered "adaptively". In the area of large illuminance differences within the surface, the raster is subdivided finer; within lesser differences, a rougher classification is made.
<b>Illuminance, horizontal</b>	Illuminance that is calculated or measured on a horizontal (level) surface (this can be for example a table top or the floor). The horizontal illuminance is usually identified by the formula letter E <sub>h</sub> .
<b>Illuminance, perpendicular</b>	Illuminance that is calculated or measured plumb-vertical to a surface. This needs to be taken into account for tilted surfaces. If the surface is horizontal or vertical, then there is no difference between the perpendicular and the horizontal or vertical illuminance.
<b>Illuminance, vertical</b>	Illuminance that is calculated or measured on a vertical surface (this can be for example the front of some shelves). The vertical illuminance is usually identified by the formula letter E <sub>v</sub> .

### L

<b>LENI</b>	(Engl. lighting energy numeric indicator) Lighting energy numeric indicator acc. to EN 15193  Unit: kWh/(m <sup>2</sup> * a)
-------------	---

## Glossary

LLMF	(Engl. lamp lumen maintenance factor)/acc. to CIE 97: 2005 Lamp flux maintenance factor that takes the luminous flux reduction into account of a luminaire or an LED module in the course of the operating time. The lamp flux maintenance factor is specified as a decimal digit and can have a maximum value of 1 (no luminous flux reduction existing).
LMF	(Engl. luminaire maintenance factor)/acc. to CIE 97: 2005 Luminaire maintenance factor that takes the soiling into account of the luminaire in the course of the operating time. The luminaire maintenance factor is specified as a decimal digit and can have a maximum value of 1 (no soiling existing).
LSF	(Engl. lamp survival factor)/acc. to CIE 97: 2005 Lamp survival factor that takes the total failure into account of a luminaire in the course of the operating time. The lamp survival factor is specified as a decimal digit and can have a maximum value of 1 (no failures existing within the time concerned or prompt replacement after the failure).
Luminance	Dimension for the "brightness impression" that the human eye has of a surface. The surface itself can emit light thereby or light striking it can be reflected (emitter value). It is the only photometric value that the human eye can perceive.  Unit: Candela per square metre Abbreviation: cd/m <sup>2</sup> Formula symbol: L
Luminous efficacy	Ratio of the emitted luminous flux $\Phi$ [lm] to the absorbed electrical power P [W] Unit: lm/W.  This ratio can be formed for the lamp or LED module (lamp or module light output), the lamp or module with control gear (system light output) and the complete luminaire (luminaire light output).
Luminous flux	Dimension for the total light output that is emitted from one light source in all directions. It is thus an "emitter value" that specifies the entire emitting output. The luminous flux of a light source can only be determined in a laboratory. A difference is made between the lamp or LED module luminous flux and the luminaire luminous flux.  Unit: Lumen Abbreviation: lm Formula symbol: $\Phi$
Luminous intensity	Describes the intensity of the light in a certain direction (emitter value). The luminous intensity is a matter of the luminous flux $\Phi$ that is emitted in a certain spherical angle $\Omega$ . The radiation characteristics of a light source are presented graphically in a light distribution curve (LDC). The luminous intensity is an SI base unit.  Unit: Candela Abbreviation: cd Formula symbol: I

## Glossary

### M

Maintenance factor	See MF
MF	<p>(Engl. maintenance factor)/acc. to CIE 97: 2005</p> <p>Maintenance factor as decimal number between 0 and 1 that describes the ratio of the new value of a photometric planning parameter (e.g. of the illuminance) to a maintenance value after a certain time. The maintenance factor takes into account the soiling of luminaires and rooms as well as the luminous flux reduction and the failure of light sources.</p> <p>The maintenance factor is taken into account either overall or determined in detail acc. to CIE 97: 2005 by the formula <math>RMF \times LMF \times LLMF \times LSF</math>.</p>

### P

P	<p>(Engl. power)</p> <p>Electric power consumption</p> <p>Unit: watt</p> <p>Abbreviation: W</p>
---	---

### R

$R_{(UG) \max}$	<p>Measure of the psychological glare in indoor spaces.</p> <p>In addition to the luminance of luminaires, the level of the <math>R_{(UG)}</math> value also depends on the observer position, the viewing direction and the ambient luminance. The calculation is made according to the table method, see CIE 117. Among other things, EN 12464-1:2021 specifies maximum permissible <math>R_{(UG)}</math>- values <math>R_{(UGL)}</math> for various indoor workplaces.</p>
Reflection factor	<p>The reflection factor of a surface describes how much of the striking light is reflected back. The reflection factor is defined by the colour of the surface.</p>
RMF	<p>(Engl. room maintenance factor)/acc. to CIE 97: 2005</p> <p>Room maintenance factor that takes the soiling into account of the space encompassing surfaces in the course of the operating time. The room maintenance factor is specified as a decimal digit and can have a maximum value of 1 (no soiling existing).</p>

### S

Surrounding area	<p>The ambient area directly borders the area of the visual task and should be planned with a width of at least 0.5 m according to DIN EN 12464-1. It is at the same height as the area of the visual task.</p>
------------------	---

## Glossary

### U

**UGR (max)** (unified glare rating)  
 Measure for the psychological glare effect in interiors.  
 In addition to luminaire luminance, the UGR value also depends on the position of the observer, the viewing direction and the ambient luminance. Among other things, EN 12464-1 specifies maximum permissible UGR values for various indoor workplaces.

---

**UGR observer** Calculation point in the room, for the DIALux the UGR value is determined. The location and height of the calculation point should correspond to the typical observer position (position and eye level of the user).

---

### V

**Visual task area** The area that is needed for carrying out the visual task in accordance with DIN EN 12464 -1. The height corresponds with the height at which the visual task is executed.

---

### W

**Wall zone** Circumferential area between working plane and walls which is not taken into account for the calculation.

---

**Working plane** Virtual measuring or calculation surface at the height of the visual task that generally follows the room geometry. The working plane may also feature a wall zone.

---

**Anexo 9.** Certificado de la traducción del resumen



# CERTIFICACIÓN

Loja, (1) de junio de 2023

Licenciada

**Sara Janeth Espinosa Guzmán**

**Docente del Ministerio de Educación**

En mi calidad de Licenciada en Pedagogía de Idioma Inglés con capacidades que pueden ser probadas a través de la certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, he realizado la traducción del resumen del trabajo de tesis denominado: “**Diseño y construcción de un prototipo de iluminación decorativa con tecnología LED, considerando la geometría del árbol schizolobium parahybum (pachaco)**” perteneciente al estudiante **Bryan Ricardo Alberca Agreda** con C.I. **1900594415**

Es en cuento puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado señor estudiante: **Bryan Ricardo Alberca Agreda**, hacer uso legal del presente según estime conveniente.

Atentamente,



---

**Sara Espinosa Guzmán**

**Docente del Ministerio de Educación**

**Nro registro Senecyt 1031-2022-2416269**