



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE**  
**POTENCIA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**REPOTENCIACIÓN Y EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN  
FOTOVOLTAICO EN LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS DE  
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, UTILIZANDO UN INVERSOR  
OFF GRID EN CONFORMIDAD CON LA NORMA 003/18**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieros Eléctricos  
en Sistemas Eléctricos de Potencia.

**Autores:**

German Rivera Alex Santiago

Yánez Sarabia Yessica Mishell

**Tutor Académico:**

Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda Ms.C

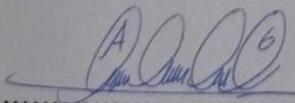
**LATACUNGA – ECUADOR**

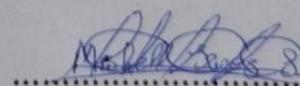
**2021**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **GERMAN RIVERA ALEX SANTIAGO** y **YÁNEZ SARABIA YESSICA MISHELL** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“REPOTENCIACIÓN Y EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICO EN LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, UTILIZANDO UN INVERSOR OFF GRID EN CONFORMIDAD CON LA NORMA 003/18”**, siendo el Ing. **VÁSQUEZ TENEDA FRANKLIN HERNÁN** el tutor del presente trabajo; y se exime expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, se certifica que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

  
.....  
**German Rivera Alex Santiago**  
C.C.: 050388629-3

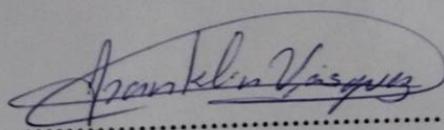
  
.....  
**Yánez Sarabia Yessica Mishell**  
C.C.: 175100668-3

## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“REPOTENCIACIÓN Y EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICO EN LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, UTILIZANDO UN INVERSOR OFF GRID EN CONFORMIDAD CON LA NORMA 003/18”**, de GERMAN RIVERA ALEX SANTIAGO y YÁNEZ SARABIA YESSICA MISHELL, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, octubre 2021



.....  
Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda MSc.  
C.C. 171043449-7

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes **GERMAN RIVERA ALEX SANTIAGO** y **YÁNEZ SARABIA YESSICA MISHELL** con el título de Proyecto de titulación “**REPOTENCIACIÓN Y EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICO EN LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, UTILIZANDO UN INVERSOR OFF GRID EN CONFORMIDAD CON LA NORMA 003/18**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, octubre 2021

Para constancia firman:



Firmado electrónicamente por:  
**GABRIEL NAPOLEON  
PESANTEZ PALACIOS**

.....  
**Ing. Gabriel Pesantez Palacios**  
C.C. 030189388-9

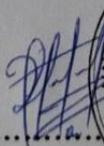
.....  
**Ing. Wilian Guamán Cuenca**  
C.C. 060357895-6

.....  
**Ing. Efrén Barbosa Galarza**  
C.C. 050142072-3

## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de director de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi certifico que mediante al proyecto de investigación “**REPOTENCIACIÓN Y EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICO EN LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, UTILIZANDO UN INVERSOR OFF GRID EN CONFORMIDAD CON LA NORMA 003/18**”, de los señores **GERMAN RIVERA ALEX SANTIAGO** y **YÁNEZ SARABIA YESSICA MISHELL**, realizan la entrega del sistema de iluminación alimentado por energía fotovoltaica, para el laboratorio de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, octubre 2021

  
.....  
**Ing. Eduardo Hinojosa**  
**C.C. 050236581-0**



## AGRADECIMIENTO

*A Dios por darme la vida. A mis padres Blanca y Pedro, que son mi motor principal, que día a día luchan con su trabajo, y me dan el apoyo incondicional para cumplir con mi objetivo.*

*A mis hermanos con sus experiencias, motivaciones y consejos me han ayudado a que el trayecto me sea más llevadero.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi quien me dio la oportunidad de formarme como un excelente profesional.*

*Un enorme y sincero agradecimiento a mi tutor Ing. MSc. Franklin Vázquez y al Ing. MSc. Eduardo Hinojosa por el gran apoyo brindado, confianza, amistad e importantes conocimientos compartidos, además de la paciencia puesta en el desarrollo de este proyecto.*

*A docentes, compañeros, y amigos con quienes compartí las aulas y ahora se convierten en grandes colegas.*

*Alex German.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios por permitirme terminar una etapa más en mi vida por darme sabiduría, inteligencia y muchas fuerzas para que día a día mi sueño se haga realidad.*

*A mis papitos Milton Yáñez y Narcisa Sarabia que fueron y son el pilar fundamental en mi vida para seguir adelante el cual me depositaron toda su confianza hacia mi persona y me dieron ánimos, me compartieron experiencias para llegar a cumplir un objetivo más en mi vida.*

*A mi hermana princesita Diana Yáñez por ser más que mi hermana mi amiga la cual siempre estuvo ahí conmigo en las buenas y en las malas.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas para formarme como una excelente profesional.*

*A todos mis profesores por sus buenas enseñanzas para desarrollarme como una mujer profesional y por haberme brindado todos sus conocimientos, especialmente agradezco al: Ing. MSc. Eduardo Hinojosa por ser una gran persona, un gran profesional y ser la guía de este proyecto quien nos brindó su apoyo, su confianza, su amistad, su paciencia y sobre todo sus conocimientos adquiridos durante todo su tiempo de trabajo.*

*A todos mis amigos y compañeros especialmente a los chulis Jordin López y Alex Fernández, por brindarme sus ánimos, su ayuda, su linda y bella amistad durante todo el tiempo que se desarrolló el proyecto.*

*Jessica Yáñez*

## DEDICATORIA

*Le presente Tesis dedicado con mucho orgullo a mis padres, quienes siempre me apoyaron en los momentos críticos. A mis hermanos quienes me impulsaron a formarme profesionalmente. A mi querida Universidad Técnica de Cotopaxi, en donde viví muchas experiencias y compartí sueños, metas con los compañeros. A cada uno de los docentes, quienes protagonizaron la formación de un nuevo profesional. A familiares, amigos y a todos quienes estuvieron ahí cuando más lo necesitaba.*

*Alex German.*

## DEDICATORIA

*La presente tesis es dedicada con todo mi corazón y cariño:*

*A Dios porque él me acompaño y siempre me levanto de mi continuo tropiezo durante todos estos años vividos en la Universidad.*

*A mis papitos lindos Milton Yáñez y Narcisa Sarabia porque siempre fueron mis mejores amigos, siempre estaban conmigo a pesar de las dificultades que se me han presentado en la vida nunca me dejaron sola y siempre tuve ese gran apoyo económico.*

*A toda mi familia Yáñez Sarabia porque siempre me compartieron sus experiencias vividas, sus ganas de seguir adelante y sobre todo sus fuerzas el cual no debía rendirme.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a mis compañeros y a todos mis maestros porque de una u otra manera se llegó a tener bonitas experiencias, se compartió momentos en las aulas de clases y sobre todo se llegó adquirir buenos conocimientos.*

*Jessica Yáñez*

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO: “REPOTENCIACIÓN Y EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICO EN LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, UTILIZANDO UN INVERSOR OFF GRID EN CONFORMIDAD CON LA NORMA 003/18”**

### **Autores:**

German Rivera Alex Santiago

Yanez Sarabia Yessica Mishell

### **RESUMEN:**

En el presente trabajo de titulación se desarrolló el estudio del sistema de iluminación actual del laboratorio de control y máquinas de la facultad de CIYA, el cual se determinó que el nivel de iluminación es inferior al permitido por las normativas UNE 12464 y RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), motivo por el cual se efectuó el diseño y análisis de dos sistemas de iluminación en base a luminarias fluorescentes y LED mediante el software Dialux Evo. Los resultados obtenidos de estas simulaciones han permitido establecer que el sistema de iluminación que cumple con las normativas requeridas, es la iluminación LED, el mismo que será energizado con un sistema de generación fotovoltaica aislado a la red utilizando un inversor off Grid, con una potencia instalada de 1080 Wp, distribuida en 4 módulos policristalinos de 270 Wp y una eficiencia de 20%, el sistema de acumulación constará de 10 baterías de descarga profunda a 100 Ah/12V y el inversor de 3 kVA/24V, entonces se dice que el uso de luminarias con tecnología LED, permite obtener un sistema de iluminación eficiente, en conjunto con el sistema fotovoltaico contribuirán en la protección ambiental ya que es una energía renovable y así de esta manera se logra que el sistema de iluminación tenga un ahorro energético que permitirá tener un óptimo lugar para trabajar con las respectivas prácticas en los laboratorio de control y máquinas.

**Palabras claves:** Energizado, generación, eficiente, software, policristalino, ahorro, máquinas, descarga.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**  
**ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY**

**THEME:** "REPOWERING AND EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC LIGHTING SYSTEM INTO THE CONTROL LABORATORIES AND MACHINES FROM COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY, BY USING AN OFF-GRID INVERTER IN ACCORDANCE WITH 003/18 STANDARD".

**Authors:**

German Rivera Alex Santiago

Yanez Sarabia Yessica Mishell

**ABSTRACT**

Into present degree work, it is developed the study of control laboratory actual lighting system and CIYA faculty machines, which determined that the lighting level is lower than that allowed by UNE 12464 and RETIE regulations (Electrical Installations Technical Regulations), which is why the design and analysis of two lighting systems based on fluorescent and LED luminaires was made through the Dialux Evo software. The results got of these simulations have allowed to establish, which the lighting system that complies with the required regulations is LED lighting, the same that will be energized with an isolated photovoltaic generation system to the grid through an off Grid inverter, with a 1080 Wp power installed, it distributed in 4 polycrystalline modules of 270 Wp and a 20% efficiency, the accumulation system will consist of 10 deep discharge batteries at 100 Ah/12V and the 3 kVA/24V inverter, then, it is said that luminaires with the use LED technology allows to get an efficient lighting system, together with the photovoltaic system, they will contribute to environmental protection, since it is a renewable energy and thus in this way, it is achieved that the lighting system has an energy saving, which it will allow have an optimal place for working with the respective practices in the control laboratories and machines.

**Key words:** Energized, generation, efficient, software, polycrystalline, saving, machines, discharge.

## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa **“Repotenciación y eficiencia del sistema de iluminación fotovoltaico en los laboratorios de control y máquinas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, utilizando un inversor off Grid en conformidad con la norma 003/18”**., presentado por: **Alex Santiago German Rivera y Yessica Mishell Yánez Sarabia**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Eléctrica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Octubre del 2021

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:  
MARCO PAUL  
BELTRAN  
SEMBLANTES



CENTRO  
DE IDIOMAS

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC CI:  
0502666514**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
2.1. El problema:.....	2
2.1.1. Situación Problémica: .....	2
2.1.2. Formulación del problema:.....	3
2.2. Objeto y campo de acción.....	3
2.3. Beneficiarios: .....	3
2.3.1. Beneficiarios directos .....	3
2.3.2. Beneficiarios indirectos .....	3
2.4. Justificación: .....	3
2.5. Hipótesis .....	4
2.6. Objetivos:.....	4
2.6.1. General:.....	4
2.6.2. Específicos:.....	4
2.7. Sistema de tareas.....	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	6
3.1. Antecedentes.....	6
3.2. Sistema de iluminación.....	8
3.2.1. Conceptos básicos de iluminación.....	8
3.3. Tipo de lamparas.....	11
3.3.1. Incandescentes .....	11
3.3.2. Halógenas .....	12
3.3.3. Lámpara de descarga .....	12
3.3.4. Fluorescente.....	13
3.3.5. LED.....	14
3.4. Equipo de medición de iluminación .....	15
3.4.1. Cálculo de iluminación interior .....	15
3.5. Método de cuadrilla (grilla).....	17
3.6. Criterios de iluminación (puntual y general) .....	17
3.7. Marco legal .....	18
3.7.1. Normas técnicas.....	18
3.8. Generalidades de la energía solar fotovoltaica .....	19
3.8.1. Radiación solar .....	19

3.8.2. Irradiancia .....	19
3.8.3. Irradiación.....	19
3.8.4. Angulo de acimut ( $\alpha$ ).....	19
3.8.5. Angulo de inclinación ( $\beta$ ) .....	20
3.9. Sistemas fotovoltaicos .....	21
3.9.1. Clasificación de los SFV por su estructura.....	22
3.10. Elementos de un sistema fotovoltaico .....	22
3.10.1. Paneles Solares .....	22
3.11. Baterías .....	24
3.11.1. Tipos de baterías .....	25
3.12. Inversor .....	25
3.12.1. Inversor Hibrido.....	26
3.13. Metodología para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico .....	27
3.13.1. Cálculo de la Irradiación Global Diaria sobre la Superficie del Generador .....	27
3.13.2. Cálculo de los parámetros electricos del sistema fotovoltaico .....	28
3.13.3. Dimensionamiento del Banco de Baterías .....	30
3.13.4. Dimensionado del Inversor.....	31
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
4.1. Metodos de investigación .....	34
4.1.1. Investigación Bibliográfica.....	34
4.1.2. Investigación de Campo .....	34
4.1.3. Métodos de Inductivo .....	34
4.1.4. Método Deductivo .....	35
4.1.5. Método Analítico .....	35
4.1.6. Método Descriptivo .....	35
4.2. Materiales e instrumentos .....	35
4.2.1. La Observación.....	35
4.2.2. Luxómetro.....	35
4.2.3. Programa Dialux evo .....	35
4.2.4. Programa AutoCAD .....	36
4.3. Lista de materiales .....	36
4.3.1. Metodología de cálculo del sistema fotovoltaico .....	36
4.3.2. Determinación de la carga (luminarias).....	37
4.3.3. Cálculo de energía consumida .....	37
4.3.4. Selección del módulo fotovoltaico e inversor .....	38
4.3.5. Cálculo de los módulos fotovoltaicos.....	38

4.3.6. Cálculo de inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos .....	38
4.3.7. Conductores .....	39
4.3.8. Disyuntores o breakers .....	39
4.3.9. Lámparas LED.....	40
4.3.1. Tubería Conduit y accesorios EMT .....	41
4.3.2. Interruptor .....	42
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	43
5.1. Generalidades de la universidad técnica de cotopaxi .....	43
5.1.1. Características del laboratorio de control y máquinas .....	43
5.2. Levantamiento del sistema de iluminación con luminarias fluorescentes en los laboratorios de control y máquinas.....	43
5.2.1. Problemas de iluminación en el laboratorio de control y máquinas .....	44
5.2.2. Mediciones de los niveles de iluminación .....	44
5.2.3. Procedimiento para la medición de iluminación.....	45
5.2.4. Simulación del sistema de iluminación con luminarias fluorescentes mediante el software Dialux evo.....	52
5.2.5. Análisis de los resultados obtenidos mediante el cálculo realizado y el software Dialux Evo.....	54
5.3. Análisis técnico y económico de las lámparas con luminarias fluorescentes y luminarias led.....	56
5.4. Diseño del sistema de iluminación con luminarias led en los laboratorios de control y máquinas .....	57
5.4.1. Características principales de las luminarias .....	57
5.4.2. Estudio Técnico del sistema de iluminación .....	58
5.4.3. Diseño del sistema de iluminación con luminarias LED mediante el software Dialux evo.....	68
5.4.4. Análisis de los resultados obtenidos utilizando el software Dialux Evo de acuerdo al cálculo realizado del número de luminarias que se necesita para alcanzar un nivel adecuado de lúmenes .....	70
5.5. Viabilidad de la hipótesis.....	71
5.6. Cálculo del sistema fotovoltaico para el sistema de iluminación led de los laboratorios de control y máquinas .....	72
5.6.1. Dimensionamiento para energizar el sistema de iluminación mediante energía fotovoltaica. ....	72
5.7. Impactos (técnicos, sociales, ambientales o económicos) .....	90
5.7.1. Impacto Técnico .....	90
5.7.2. Impacto Social .....	90
5.7.3. Impacto Ambiental .....	90

5.7.4. Impacto Económico .....	91
5.8. Presupuesto para la propuesta.....	91
5.8.1. Rentabilidad del sistema fotovoltaico.....	91
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	95
6.1. Conclusiones.....	96
6.2. Recomendaciones .....	96
7. BIBLIOGRAFÍA .....	97
8. ANEXOS .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3. 1.</b> Flujo luminoso [10].....	8
<b>Figura 3. 2.</b> Concepto de Iluminación [10].....	9
<b>Figura 3. 3.</b> Luminancia [10].....	9
<b>Figura 3. 4.</b> Intensidad luminosa [9].....	10
<b>Figura 3. 5.</b> Eficiencia luminosa [1].....	11
<b>Figura 3. 6.</b> Partes de una lámpara incandescente [5].....	11
<b>Figura 3. 7.</b> Ciclo de halógeno [5].....	12
<b>Figura 3. 8.</b> Lámpara de descarga [11].....	13
<b>Figura 3. 9.</b> Lámpara fluorescente [11].....	13
<b>Figura 3. 10.</b> Lámpara LED [14].....	14
<b>Figura 3. 11.</b> Luxómetro.....	15
<b>Figura 3. 12.</b> Angulo de acimut ( $\alpha$ ) de un módulo fotovoltaico [9].....	20
<b>Figura 3. 13.</b> Angulo de inclinación ( $\beta$ ) de un módulo fotovoltaico [9].....	20
<b>Figura 3. 14.</b> Sistema fotovoltaico conectado a la red [29].....	21
<b>Figura 3. 15.</b> Diagrama de un sistema aislado a la red eléctrica [31].....	22
<b>Figura 3. 16.</b> Celda solar monocristalina [28].....	23
<b>Figura 3. 17.</b> Celda solar policristalino [32].....	24
<b>Figura 3. 18.</b> Celda solar de silicio amorfo [28].....	24
<b>Figura 3. 19.</b> Baterías para sistemas fotovoltaicos [33].....	25
<b>Figura 3. 20.</b> Inversor híbrido [35].....	26
<b>Figura 3. 21.</b> Pérdidas de energía en un generador fotovoltaico aislado de la red eléctrica [9].....	28
<b>Figura 3. 22.</b> Tramos de línea en un sistema fotovoltaico aislado sin considerar los dispositivos de protección [9].....	33
<b>Figura 4. 1.</b> Diagrama de flujo del sistema fotovoltaico.....	37
<b>Figura 4. 2.</b> Paneles fotovoltaicos.....	38
<b>Figura 4. 3.</b> Conductores.....	39
<b>Figura 4. 4.</b> Disyuntores o breakers.....	40
<b>Figura 4. 5.</b> Lámparas LED.....	41
<b>Figura 4. 6.</b> Accesorios para la tubería EMT.....	41
<b>Figura 4. 7.</b> Interruptor [39].....	42
<b>Figura 5. 1.</b> Ubicación geográfica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	43
<b>Figura 5. 2.</b> Laboratorios con luminarias fluorescentes.....	44
<b>Figura 5. 3.</b> División del laboratorio de control y máquinas.....	45
<b>Figura 5. 4.</b> Puntos de medición sección A1.....	47
<b>Figura 5. 5.</b> Puntos de medición sección A2.....	48
<b>Figura 5. 6.</b> Puntos de medición sección B1.....	50
<b>Figura 5. 7.</b> Puntos de medición sección B2.....	51
<b>Figura 5. 8.</b> Laboratorios de control y máquinas con luminarias fluorescentes.....	52
<b>Figura 5. 9.</b> Curva fotométrica de luminarias fluorescentes.....	53
<b>Figura 5. 10.</b> Estado actual de los niveles de iluminación en los laboratorios a) Sección A1 b) Sección A2.....	55
<b>Figura 5. 11.</b> Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo.....	58

<b>Figura 5. 12.</b> Curva para determinar el coeficiente de utilización.....	60
<b>Figura 5. 13.</b> Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo.....	62
<b>Figura 5. 14.</b> Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo.....	64
<b>Figura 5. 15.</b> Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo.....	66
<b>Figura 5. 16.</b> Laboratorios de control y maquinas con tecnología LED.....	68
<b>Figura 5. 17.</b> Curva fotométrica de luminarias LED. ....	69
<b>Figura 5. 18.</b> Estado actual de los niveles de iluminación en el laboratorio de máquinas y control.....	71
<b>Figura 5. 19.</b> Curvas de la inclinación óptima de acuerdo a la latitud y longitud de la Universidad Técnica de Cotopaxi [40]. ....	75
<b>Figura 5. 20.</b> Trayecto solar sobre el Diagrama solar.....	76
<b>Figura 5. 21.</b> Norte geográfico del teatro universitario. ....	77
<b>Figura 5. 22.</b> Panel fotovoltaico orientado hacia el norte geográfico.....	77
<b>Figura 5. 23.</b> Conexión serie-paralelo de los paneles solares. ....	82
<b>Figura 5. 24.</b> Conexión serie-paralelo del sistema de acumulación. ....	83
<b>Figura 5. 25.</b> Esquema unifilar con las longitudes por tramo.....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1.</b> Niveles de iluminación en los laboratorios de control y máquinas. ....	4
<b>Tabla 3. 1.</b> Coeficiente de reflexión recomendable [16].....	16
<b>Tabla 3. 2.</b> Características de los principales tipos de baterías.....	25
<b>Tabla 5. 1.</b> Datos de la medición.....	45
<b>Tabla 5. 2.</b> Sección A1.....	46
<b>Tabla 5. 3.</b> Índice local redondeado.....	46
<b>Tabla 5. 4.</b> Resultados de los niveles de iluminación en la Sección A1.....	47
<b>Tabla 5. 5.</b> Sección A2.....	48
<b>Tabla 5. 6.</b> Resultados de los niveles de iluminación en la sección A2.....	49
<b>Tabla 5. 7.</b> Sección B1.....	49
<b>Tabla 5. 8.</b> Resultados del nivel de iluminación en la sección B1.....	50
<b>Tabla 5. 9.</b> Sección B2.....	51
<b>Tabla 5. 10.</b> Resultados del nivel de iluminación en la sección B2.....	52
<b>Tabla 5. 11.</b> Especificaciones técnicas.....	53
<b>Tabla 5. 12.</b> Resultados obtenidos mediante el software Dialux.....	54
<b>Tabla 5. 13.</b> Resultados de los niveles de iluminación obtenidos mediante el cálculo realizado.....	55
<b>Tabla 5. 14.</b> Resultados obtenidos de los niveles de iluminación mediante el software Dialux Evo.....	55
<b>Tabla 5. 15.</b> Características técnicas de las luminarias LED y luminarias fluorescentes.....	56
<b>Tabla 5. 16.</b> Análisis económico de las luminarias fluorescentes y LED.....	57
<b>Tabla 5. 17.</b> Datos de luminarias LED.....	58
<b>Tabla 5. 18.</b> Sección A1.....	58
<b>Tabla 5. 19.</b> Coeficiente de reflexión.....	59
<b>Tabla 5. 20.</b> Coeficiente de utilización.....	59
<b>Tabla 5. 21.</b> Coeficiente de mantenimiento.....	60
<b>Tabla 5. 22.</b> Sección A2.....	61
<b>Tabla 5. 23.</b> Sección B2.....	64
<b>Tabla 5. 24.</b> Sección B2.....	66
<b>Tabla 5. 25.</b> Especificaciones técnicas.....	69
<b>Tabla 5. 26.</b> Resultados obtenidos mediante el software Dialux.....	70
<b>Tabla 5. 27.</b> Resultados obtenidos mediante el cálculo realizado por el software Dialux Evo.....	71
<b>Tabla 5. 28.</b> Niveles anteriores de iluminación luminarias fluorescentes y niveles actuales de iluminación según el diseño luminarias LED.....	71
<b>Tabla 5. 29.</b> Uso diario de los laboratorios.....	72
<b>Tabla 5. 30.</b> Inventario de consumos eléctricos.....	72
<b>Tabla 5. 31.</b> Voltaje nominal del sistema de acumulación en función de la potencia.....	73
<b>Tabla 5. 32.</b> Insolación global en la ubicación de los laboratorios.....	73
<b>Tabla 5. 33.</b> Datos de la producción de energía promedio de la inclinación de 4,332°.....	74
<b>Tabla 5. 34.</b> Datos de la producción de energía promedio de la inclinación de 15°.....	74
<b>Tabla 5. 35.</b> Características del panel solar.....	78
<b>Tabla 5. 36.</b> Características para el cálculo de baterías.....	80
<b>Tabla 5. 37.</b> Características de la batería.....	81

<b>Tabla 5. 38.</b> Especificaciones técnicas inversor.....	81
<b>Tabla 5. 39.</b> Características de los equipos seleccionados para el proyecto .....	82
<b>Tabla 5. 40.</b> Secciones de los conductores por caída de tensión.....	86
<b>Tabla 5. 41.</b> Inversión inicial del sistema fotovoltaico .....	91
<b>Tabla 5. 42.</b> Estimación de los días.....	92
<b>Tabla 5. 43.</b> Vida útil del sistema de acumulación. ....	92
<b>Tabla 5. 44.</b> Facturación anual de energía eléctrica.....	92
<b>Tabla 5. 45.</b> Ingresos anuales.....	93
<b>Tabla 5. 46.</b> Estimación del valor de la hora diaria y del día laboral.....	93
<b>Tabla 5. 47.</b> Hoja de tiempo para mantenimiento preventivo.....	93
<b>Tabla 5. 48.</b> Gasto monetario de cada año .....	94
<b>Tabla 5. 49.</b> Flujo efectivo neto anual.....	94
<b>Tabla 5. 50.</b> Rentabilidad de usar generadores fotovoltaicos de concentración como fuente de energía del sistema de iluminación LED .....	95

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Título:**

Repotenciación y eficiencia del sistema de iluminación fotovoltaico en los laboratorios de control y máquinas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, utilizando un inversor off Grid en conformidad con la norma 003/18.

**Fecha de inicio:**

Jueves 1 de abril del 2021

**Fecha de finalización:**

Viernes 1 de Octubre del 2021

**Lugar de ejecución:**

Latacunga

**Facultad que auspicia:**

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

**Carrera que auspicia:**

Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

**Equipo de Trabajo:**

Tutor: Vásquez Teneda Franklin Hernán,

Estudiantes: German Rivera Alex Santiago,

Yánez Sarabia Yessica Mishell.

**Área de Conocimiento:**

07 ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:**

Energías Alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Control y optimización en el uso de la energía del sector Industrial, comercial y residencial.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1. EL PROBLEMA:**

#### **2.1.1. Situación Problémica:**

Un aspecto importante es la utilización de sistemas fotovoltaicos el cual permita dar uso la radiación solar como una fuente de energía limpia, renovable, sostenible e inagotable esto se debe a que las condiciones ambientales del país están cambiando continuamente, es por ello que se lleva a cabo este proyecto con el fin de reducir la contaminación, además se busca disminuir los costos de la energía conectada a la red donde la energía recolectada por los paneles fotovoltaicos es almacenada en un banco de baterías permitiendo así un ahorro considerado en el consumo total de energía.

Por otro lado, se vio que los laboratorios de control y máquinas no cuentan con un sistema de iluminación adecuado ya que la iluminación es uno de los aspectos importantes en la aplicación de la electricidad el cual permite mejorar la calidad de vida de las personas, es por eso que se ve en la necesidad de repotenciar los laboratorios utilizando un sistema fotovoltaico aislado a la red donde permita brindar una mejor eficiencia y un correcto funcionamiento al momento de trabajar en el lugar.

Además los seres humanos tienen la capacidad de adaptarse a su ambiente y a su entorno, es por eso que al utilizar todos los tipos de energías existentes y la más importante que es la luz, el cual es un mecanismo esencial en la salud visual donde se puede apreciar la forma, el color y la perspectiva de las cosas que nos rodean en nuestra vida diaria, también una iluminación inadecuada o en mal funcionamiento al momento de trabajar puede originar cansancio, fatiga ocular, dolor de cabeza, estrés y otro tipo de accidentes que provoquen daños a la vista.

En base a lo expuesto previamente se puede observar que este proyecto tiene un grado de seguridad que se va a ejecutar y esto depende de la capacidad, cantidad y calidad de iluminación visual que tendrán los estudiantes, porque la incorrecta aplicación de luminarias puede afectar la apreciación del entorno que les rodea ya que existen muchos accidentes por falta de luz, deficiencias o errores cometidos por los estudiantes, el cual hace que resulte muy difícil identificar objetos o riesgos asociados con las máquinas de control que se encuentran en los laboratorios.

### **2.1.2. Formulación del problema:**

En los laboratorios de control y máquinas de la Universidad Técnica de Cotopaxi existe un nivel de iluminación que no cumple las normas UNE 12464 - RETIE para la docencia y el sistema actual de generación fotovoltaico requiere una repotenciación para su explotación eficiente en el sistema de iluminación.

## **2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 330604 Iluminación Eléctrica

### **2.3. BENEFICIARIOS:**

#### **2.3.1. Beneficiarios directos**

Los beneficiarios de la propuesta tecnológica son docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

#### **2.3.2. Beneficiarios indirectos**

Comunidad Universitaria

### **2.4. JUSTIFICACIÓN:**

Este proyecto se centra en la repotenciación y eficiencia de un sistema fotovoltaico para iluminación utilizando un inversor off Grid.

Una de las formas de aprovechar la radiación solar directa y difusa emitidas por el astro más cercano a la tierra, son los sistemas fotovoltaicos ya que son una alternativa para la generación de electricidad, reemplazando temporalmente los combustibles fósiles como el carbón o el petróleo es por eso que el sistema puede ser dependiente o independiente de la red de suministro de energía, lo que ayuda a reducir el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otras emisiones de gases de efecto invernadero, por lo tanto es necesario buscar nuevas fuentes de energía renovable garantizando la calidad de vida.

Otra de las cosas es la deficiencia del sistema de iluminación que existe en los laboratorios de control y máquinas de la Universidad Técnica de Cotopaxi principalmente esto es debido al uso de luminarias de baja eficiencia y alto consumo energético, en la Tabla 2.1 se puede evidenciar los niveles de iluminación existentes el cual no cumplen con una normativa requerida que permita tener los niveles necesarios para los laboratorios.

**Tabla 2. 1.** Niveles de iluminación en los laboratorios de control y máquinas.

<b>CIRCUITOS</b>	<b>NIVELES DE ILUMINACIÓN</b>
BODEGA 1	142,8889 lux
BODEGA 2	36,9444 lux
ÁREA DE MÁQUINAS	151,0556 lux
ÁREA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN	148,6333 lux

Con este proyecto se mejorara la eficiencia de iluminación en los laboratorios de control y máquinas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, el cual para lograr dicho objetivo se realizará un levantamiento del sistema de iluminación para de acuerdo al cálculo instalar luminarias acorde a una normativa requerida como es la UNE 12464 y RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) estas luminarias estarán alimentadas por medio de energía fotovoltaica sin provocar mayores efectos negativos al medio ambiente es por eso que dicho proyecto tendrá un aporte significativo al momento de realizar la repotenciación reduce el pago de consumo de energía eléctrica y mejora la eficiencia del sistema de iluminación.

## **2.5. HIPÓTESIS**

Si se realiza la repotenciación y eficiencia del sistema de iluminación mediante tecnología LED a través de la energía fotovoltaica, es posible obtener niveles de calidad y mejorar la eficiencia de iluminación de los laboratorios.

## **2.6. OBJETIVOS:**

### **2.6.1. General:**

Realizar la repotenciación de la iluminación y la generación fotovoltaica en los laboratorios de control y máquinas de la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante la utilización de un inversor off Grid para mejorar la calidad y eficiencia del sistema de iluminación fotovoltaica.

### **2.6.2. Específicos:**

Investigar los parámetros técnicos, así como también las bases teóricas necesarias de todos los elementos que intervienen en el sistema fotovoltaico para iluminación.

Realizar el levantamiento y el diseño del sistema de iluminación alimentado por energía fotovoltaica para la verificación y el cumplimiento de los niveles de iluminación de acuerdo a normas internas como la UNE 12464 y RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) que son de centros educativos para laboratorios.

Analizar técnicamente y económicamente el sistema de iluminación alimentado por energía fotovoltaico para conocer cuál es la rentabilidad del proyecto.

### 2.7. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar los parámetros técnicos, así como también las bases teóricas necesarias de todos los elementos que intervienen en el sistema fotovoltaico para iluminación.	Recopilación de información de todos los elementos que intervienen en un sistema de iluminación alimentado por energía fotovoltaica.	Información de los elementos del sistema fotovoltaico y de iluminación.	Fuentes bibliográficas Manuales de los elementos técnicos que intervienen en el sistema fotovoltaico y de iluminación.
Realizar el levantamiento y el diseño del sistema de iluminación alimentado por energía fotovoltaica para la verificación y el cumplimiento de los niveles de iluminación de acuerdo a normas internas como la UNE 12464 y RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) que son de centros educativos para laboratorios.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mediciones de los niveles actuales lumínicos a través del método de cuadrícula.</li> <li>- Verificación de los límites establecidos en las normativas.</li> <li>- Cálculo de los elementos que interviene en el sistema fotovoltaico para iluminación.</li> <li>- Aplicación de un software para modelar el sistema de iluminación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveles actuales de iluminación.</li> <li>- Diagnóstico del cumplimiento legal de iluminación.</li> <li>- Archivo ejecutable en el programa Dialux Evo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilización del equipo luxómetro para medir el nivel de iluminación medio.</li> <li>- Método de cuadrícula se identifica los distintos niveles actuales de iluminación.</li> <li>- Software Dialux Evo</li> <li>- Excel</li> <li>- Normativas</li> </ul>
Analizar técnicamente y económicamente el sistema de iluminación alimentado por energía fotovoltaico para conocer cuál es la rentabilidad del proyecto.	Análisis económico de la propuesta tecnológica. Revisión de catálogos	Tabla de flujos económicos de la propuesta. Características técnicas	Excel Catálogos

### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

Para la ejecución de este proyecto se revisó una serie de trabajos previos, relacionados con el objeto de investigación, y estos trabajos servirán de base para antecedentes ya que son proyectos similares.

En [1] su presente publicación menciona que el objetivo de este trabajo es lograr el control automático y ahorro energético de la iluminación, por lo que se está interesado en mejorar el sistema de iluminación con el fin de utilizar nuevas tecnologías para aumentar la eficiencia y reducir el consumo energético.

En [2] se presenta el estudio de la eficiencia energética en instalaciones de iluminación el cual menciona que el consumo de energía ha aumentado mientras avanza el tiempo y la mayor parte de la contaminación causada por la electricidad proviene de combustibles fósiles, y sus reservas están disminuyendo. Por este motivo para reducir la contaminación se utilizan energías renovables (eólicas, solares) que permitan producir electricidad, a nivel de iluminación, ya sea en un entorno doméstico o en un entorno industrial, la aparición de la tecnología LED ha hecho que exista una buena eficiencia.

En [3] la publicación de este proyecto se plantea el desarrollo del uso de energía renovable, a través de un sistema de energía fotovoltaico solar aislado, que pueda cubrir la demanda energética de una comunidad alejada, tomando en cuenta la situación demográfica, situación climática, situación económica, nivel educativo, recursos naturales con los que cuenta dicha comunidad por eso es necesario desarrollar un nuevo sistema dirigido a utilizar energías renovables, ya que se han convertido en una opción para el presente y futuro, a la vez que son inagotables y limpias.

En [4] la realización de este proyecto consiste en el diseño de un sistema fotovoltaico para atender el funcionamiento de luminarias de una granja agropecuaria la cual se plantean una instalación aisladas de red para atender el consumo propio de la instalación, en la que se utiliza una fuente de energía renovable o inagotable que además no contamina el medio ambiente, no emite ningún tipo de sustancia contaminante ni genera residuos.

En [5] este proyecto investigativo habla de que muchos accidentes son causados por falta de iluminación y errores cometidos por las personas, los cuales son importantes desde un punto de vista de la seguridad, la eficiencia y el confort visual, ya que es difícil identificar objetos y peligros relacionados con maquinaria y equipo que se utilice, por eso se busca dotar

un diseño de iluminación alimentado por energía fotovoltaica para mejorar la eficiencia energética, y tener unos buenos niveles de iluminación utilizando las lámparas tipo LED.

En [6] se presenta un diseño de un sistema de iluminación alimentado mediante generación fotovoltaica el cual como objetivo principal es realizar un diseño de iluminación que cumpla con las normas nacionales e internacionales, considerando parámetros de iluminación uniforme, ausencia de deslumbramientos, luminancia óptica, condiciones de contraste adecuadas, ausencia de efectos estroboscópicos y colores acordes a la actividad a realizar dentro del entorno y esto es con el fin de mejorar la eficiencia de operación y por ende produzcan un considerable ahorro de la energía eléctrica.

En [7] su publicación menciona que la repotenciación consiste en mejorar la capacidad de acumulación de energía eléctrica DC en un banco de baterías para que éstas puedan suministrar energía suficiente para las lámparas LED y así su rendimiento se prolongue en el horario de funcionamiento de la noche, ya que el tiempo que permanece la iluminación encendida no permite transitar adecuadamente. También se mejorará la infraestructura del sistema fotovoltaico adecuando bien la seguridad y el lugar donde se encuentra emplazado el sistema fotovoltaico de manera que permita manipular los dispositivos cuando se requiera realizar un arreglo o mantenimiento al sistema.

En [8] se presenta un diseño de una instalación solar fotovoltaica de 3 kW. Donde dice que el desarrollo teórico de la tecnología fotovoltaica, desde el descubrimiento de los fenómenos fotovoltaicos en 1839 hasta la actualidad, explican la composición y funcionamiento del sistema solar fotovoltaico en la que cada componente o elemento se va detallando de acuerdo a la construcción, funcionamiento y comportamiento de los módulos solares fotovoltaicos, incluyendo las curvas variables que los caracterizan. Por otro lado se definen baterías de plomo-ácido, reguladores-controladores de carga e inversores DC/AC para aplicaciones solares aisladas.

### 3.2. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Un sistema de iluminación es un conjunto de elementos que permite aportar una determinada cantidad de luz a través de su funcionamiento para iluminar un lugar permitiendo de esta manera realizar cualquier actividad sin dificultad alguna [9].

#### 3.2.1. Conceptos básicos de iluminación

##### 3.2.1.1. Flujo Luminoso

Es la cantidad de luz emitida por la fuente de iluminación la cual puede ser una lámpara, un reflector, etc., esto depende mucho de su entorno circundante, es decir que puede existir polvo u otras sustancias que afecten directamente su emisión, esto se mide en lúmenes y su unidad es (lm) [9].

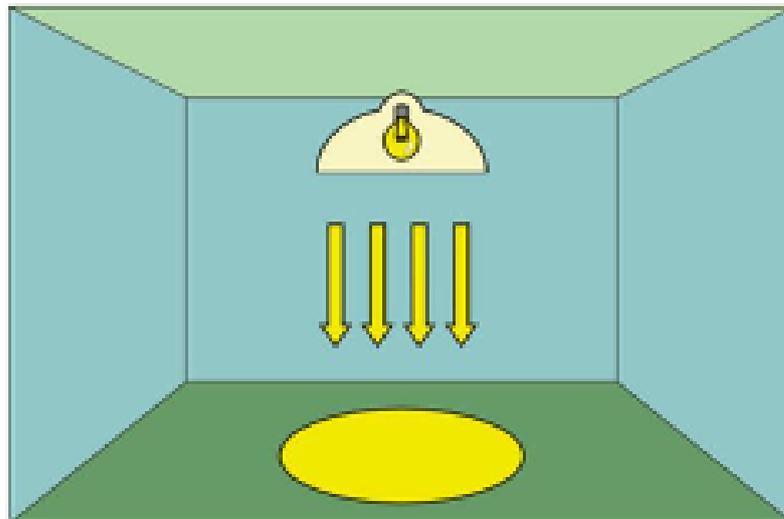


Figura 3. 1. Flujo luminoso [10].

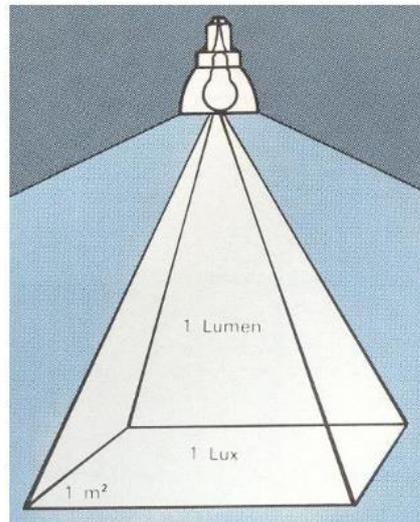
##### 3.2.1.2. Iluminación

Es el flujo luminoso por unidad de área, representado por el símbolo "E", con la unidad "lux", como se muestra en las ecuaciones (3.1) y (3.2).

$$\text{Lux} = \frac{\text{Lumen}}{\text{m}^2} \quad (3.1)$$

$$E = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Unidad de superficie}} = \frac{\text{lm}}{\text{s}} \quad (3.2)$$

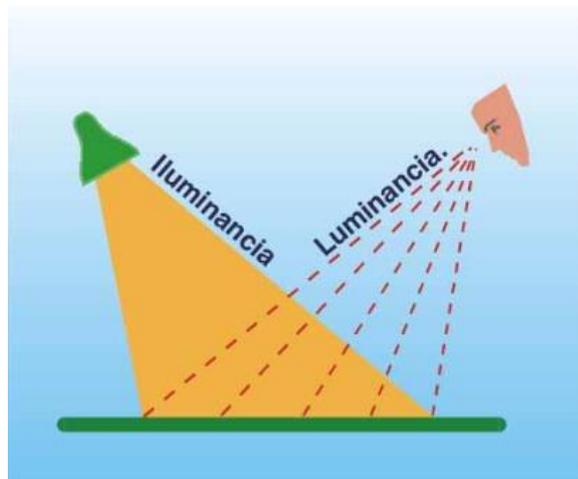
En la Figura 3.2, se puede observar cómo el flujo luminoso sobresalta el cuadrado de las unidades de medida (metros cuadrados) y tiene un aumento de luz emitida desde la superficie al ambiente (lux) [10].



**Figura 3. 2.** Concepto de Iluminación [10].

### 3.2.1.3. Luminancia

La superficie luminosa emite brillo o intensidad luminosa en una dirección determinada esto quiere decir que existe un impacto de la luminosidad generada por la superficie en el ojo humano, ya sea una fuente de luz primaria (lámpara o equipo de iluminación) o una fuente de luz secundaria [10].



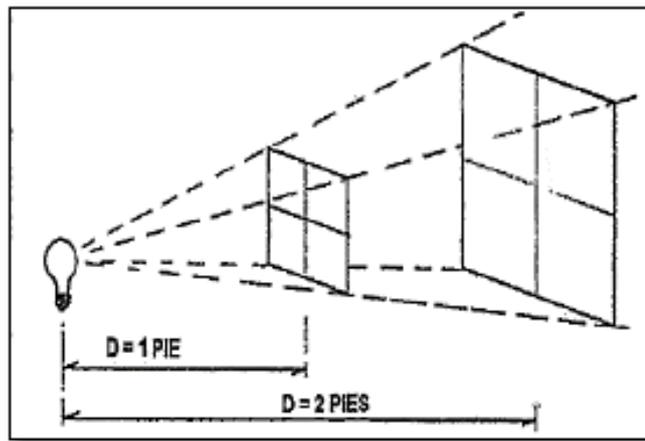
**Figura 3. 3.** Luminancia [10].

### 3.2.1.4. Intensidad Luminosa

Es la cantidad de referencia fotométrica su unidad de medida relativa es "candela" (cd), y su patrón es una área de platino su valor es de 1,66 milímetros cuadrados, esto da como resultado un punto de fusión de 1760 °C (2042 K) [10].

$$I = \frac{\text{Energía de luz}}{\text{Angulo Solido}} \quad (3.3)$$

Con referencia a la candela, los lúmenes se definen como el flujo luminoso emitido dentro de un ángulo sólido de 1 estereorradián (28,6 sólidos). Se puede agregar una fuente de luz puntual igual a 1 candela esto quiere decir que una fuente de luz que emite 1 candela proporciona  $4\pi$  en todas las direcciones (estéreo de 360°) que esto es igual a 12,57 lúmenes de flujo luminoso [10].



**Figura 3. 4.** Intensidad luminosa [9].

### 3.2.1.5. Eficiencia luminosa

Es el cociente entre el flujo luminoso producido y la energía eléctrica consumida, y tiene como características de la lámpara (25W, 60W). Cuanto más grande es, mejor es la luz y menos cuesta. La unidad es lúmenes por vatio (lm/W) [1].



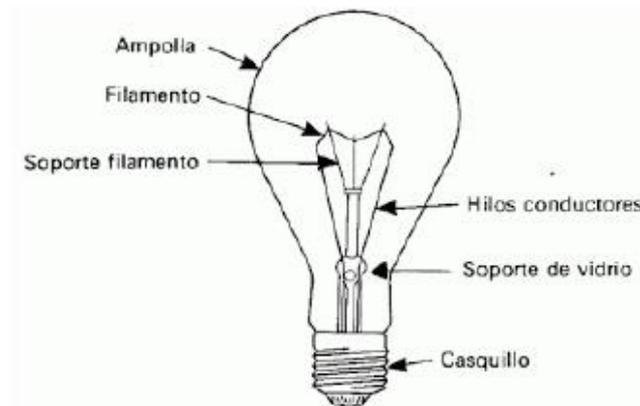
**Figura 3. 5.** Eficiencia luminosa [1].

$$\eta = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Potencia consumida}} = \frac{\text{lm}}{\text{W}} \quad (3.4)$$

### 3.3. TIPO DE LAMPARAS

#### 3.3.1. Incandescentes

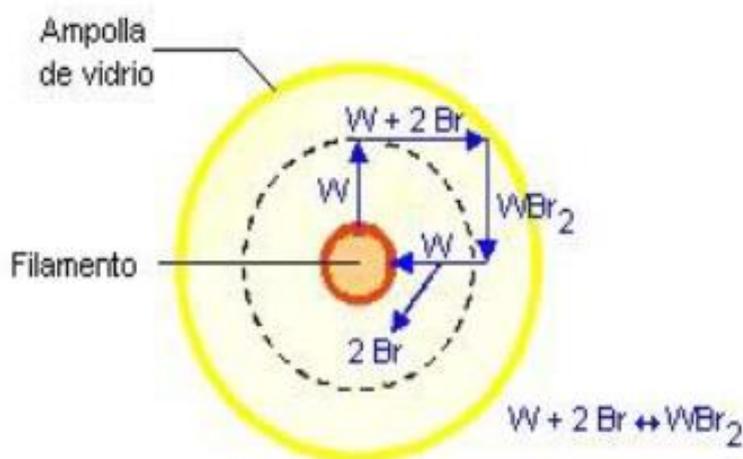
Este tipo de lámpara se basa en el fenómeno del paso de la corriente eléctrica, que se produce por el calentamiento de los filamentos de tungsteno a través del efecto Joule, generando así una radiación visible en forma de luz. Para evitar que el filamento se quemara en contacto con el aire, se rodea de una ampolla de vidrio que ha sido evacuada o llena de gas. La eficiencia de las lámparas incandescentes es muy baja, porque la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor. Sus beneficios se reflejan en su bajo costo y color de luz cálida [5].



**Figura 3. 6.** Partes de una lámpara incandescente [5].

### 3.3.2. Halógenas

El principio de funcionamiento de las lámparas incandescentes halógenas es el mismo que el de las lámparas tradicionales, la diferencia es que existen componentes halógenos y compuestos gaseosos para establecer un ciclo de regeneración para evitar el ennegrecimiento, aumentando así la vida útil de la lámpara, mejorando su eficiencia luminosa, reduciendo el tamaño y la temperatura de color más alta, existe poca o ninguna caída de la luz con el tiempo. [5].

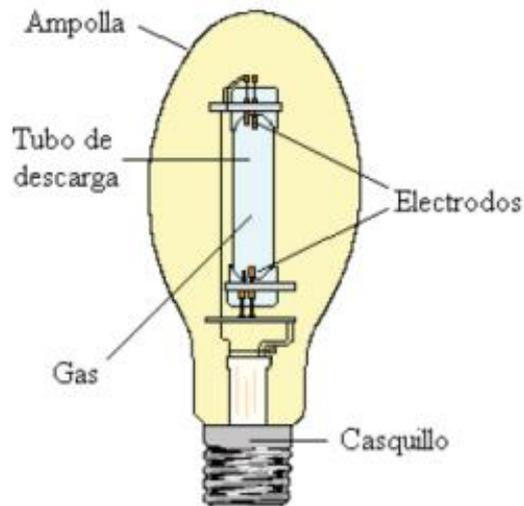


**Figura 3. 7.** Ciclo de halógeno [5].

Los átomos de halógeno se combinan con los átomos de tungsteno (o wolframio) separados del filamento porque son el punto más caliente donde están separados, por lo que la lámpara halógena puede funcionar a una temperatura más alta para que emita luz de manera más eficiente [5].

### 3.3.3. Lámpara de descarga

Una lámpara de descarga se realiza estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos ubicados en un tubo lleno de gas ionizado o vapor. La eficiencia luminosa de este tipo de lámpara es muy superior a la de las lámparas incandescentes. Estas lámparas generan luz excitando un gas que se descarga entre dos electrodos, tienen otras características distintas a las incandescentes por el tipo de luz irradiada, además irradian el espectro del gas o vapor metálico utilizado [5].



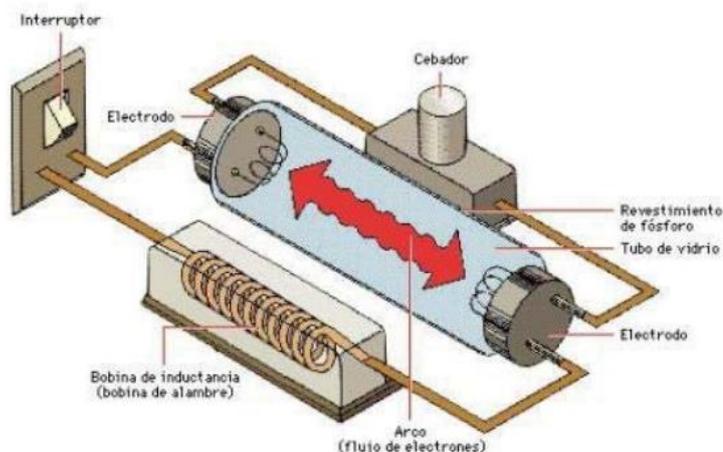
**Figura 3. 8.** Lámpara de descarga [11].

### 3.3.4. Fluorescente

Las lámparas fluorescentes tienen dos electrodos en un tubo de vidrio lleno de mezcla gaseosa. El interior del tubo de vidrio está sumergido en sustancias fluorescentes, que emiten luz cuando la corriente pasa entre los dos electrodos. Este tipo de lámpara no se puede conectar directamente a la red [5].

Partes principales que componen las lámparas fluorescentes más elementales:

- Tubo de descarga
- Casquillos con los filamentos
- Cebador, encendedor o arrancador
- Balastro



**Figura 3. 9.** Lámpara fluorescente [11].

En este tipo de lámpara, la composición del recubrimiento transmite sus características de cromaticidad, intensidad luminosa y temperatura de color [11]. También utilizan balastos para limitar la corriente a través de la tubería; pero hay varias posibilidades de encendido, como arrancar con o sin cebador, que se usa para calentar el electrodo antes de someterlo a la tensión de arranque, otra posibilidad es porque tienes un lámpara de encendido rápido que puede calentar continuamente el electrodo y el encendido instantáneo se logra aplicando un alto voltaje [12].

### 3.3.5. LED

Estas lámparas utilizan componentes de estado sólido, como diodos emisores de luz (LED), diodos emisores de luz orgánicos (OLED) o diodos emisores de luz de polímero (PLED). Este tipo de lámparas tiene la capacidad de resistir golpes y vibraciones, aumentando así su vida útil, por lo que su vida de utilidad es de unas 100.000 horas [13].



**Figura 3. 10.** Lámpara LED [14].

Consiste en componentes optoelectrónicas pasivos basados en el principio de funcionamiento de la electroluminiscencia. Este tipo de lámparas se utilizan mucho en la actualidad porque su rango es muy amplio, abarcando casi todos los campos de luz, y son dispositivos que pueden ahorrar significativamente el consumo de energía [5].

Las lámparas led poseen muchas ventajas:

- Voltaje de operación muy bajos.
- Tiempo de vida útil muy prolongado.
- Posee muy alta eficiencia.
- Reducidos costos de mantenimiento.
- Flexibilidad de instalación.

- Encendido instantáneamente al 100% de sus rendimientos.
- Es insensible a las vibraciones.
- Ausencia de radiaciones.
- Colores vivos y saturados sin filtro.

### 3.4. EQUIPO DE MEDICIÓN DE ILUMINACIÓN

Se tiene el luxómetro que es el equipo de medición el cual se utiliza este instrumento tiene un sensor que recepta la intensidad de iluminación en una área determinada emitida por una fuente de luz, se puede medir en diferentes rangos utilizando la unidad de lux o candelas [15].

Para realizar la medición se debe tener en cuenta la altura de piso en el cual debe ser colocado el luxómetro esto se efectúa sobre los planos de trabajo y se considera la inclinación existente.



**Figura 3. 11.** Luxómetro

#### 3.4.1. Cálculo de iluminación interior

Para determinar el factor de iluminación se debe tomar en cuenta lo siguiente.

##### 3.4.1.1. Coeficiente de reflexión

Los valores para el coeficiente de reflexión normalmente se encuentran tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado [15].

**Tabla 3. 1.** Coeficiente de reflexión recomendable [16].

Superficies interiores consideradas	Coeficientes de reflexión recomendadas (porcentaje)
Cielo raso	70
Paredes	50 a 60
Pisos (solados)	15
Puertas	30 a 40
Pizarrón	15 a 20
Pupitres, mesas y bancos de trabajo	35 a 50
* Del valor citado más el 20% es el máximo admisible	

### 3.4.1.2. Nivel de iluminación requerida

Los niveles de la Norma UNE 12464 y RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), representan valores mínimos que debe cumplir en laboratorios eléctricos para una comodidad visual correcta.

### 3.4.1.3. Coeficiente de utilización (Cu)

El coeficiente de utilización es una medida de la eficiencia de una luminaria en la transferencia de energía lumínica al plano de trabajo en un área determinada [15].

### 3.4.1.4. Flujo luminoso total necesario

Para el flujo luminoso se tiene la siguiente ecuación:

$$\Phi_T = \frac{E \times S}{f_u \times f_m} \quad (3.5)$$

Donde:

**$\Phi_T$** : Es el flujo luminoso total

**$E$** : Es la iluminación media deseada

**$S$** : Es la superficie del plano de trabajo

**$f_u$** : Es el factor de utilización

**$f_m$** : Es el factor de mantenimiento

### 3.4.1.5. Número de luminarias

Para el número de luminarias se utiliza la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\Phi_T}{n \times \Phi_L} \quad (3.6)$$

Donde:

**N:** Es el número de luminarias

**$\Phi_T$ :** Es el flujo luminoso total

**$\Phi_L$ :** Es el flujo luminoso de una lámpara

**n:** Es el número de lámparas por luminarias

### 3.5. MÉTODO DE CUADRILLA (GRILLA)

Para el estudio se utiliza este método para identificar el número total de mediciones en el interior del laboratorio de control y máquinas. Esto quiere decir que esta técnica es la división de varias áreas iguales cada una de ellas deben ser cuadradas donde se debe tomar en cuenta el largo, ancho y altura del plano de trabajo a las luminarias para su determinación se utiliza la siguiente ecuación [15]:

$$I = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})} \quad (3.7)$$

Luego se procede a calcular el valor de la iluminación media ( $E_{\text{media}}$ ) total, con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{media}} = \frac{\sum \text{valores medidos (lux)}}{\text{cantidad de puntos medidos}} \quad (3.8)$$

### 3.6. CRITERIOS DE ILUMINACIÓN (PUNTUAL Y GENERAL)

Para los criterios de iluminación tanto puntual como general se establecen valores de iluminancia a obtener en cada ambiente de trabajo es por eso que se tiene diferentes criterios con el fin de tener una carga adecuada [17]:

- Eficiencia visual, esto se refiere a que la persona pueda ver todos los detalles necesarios para desarrollar sus tareas.

- Confort visual, es brindarle a la persona comodidad evitando innecesarias fatigas y contribuyendo a que se sienta a gusto en su lugar de trabajo.
- Económico, esto significa obtener resultados mencionados de eficiencia y confort visual con el menor gasto total.

Parámetros que definen la calidad de una iluminación son:

- Iluminancia media, utilizada para medir la cantidad de luz que incide sobre la superficie de trabajo.
- La distribución del brillo en el campo visual no solo se ve afectada por los dispositivos de iluminación artificial, sino también por los elementos que reflejan la luz, provocan brillo y contraste.
- Efectos de modelado, permitiendo el reconocimiento de formas y volúmenes.
- Capaz de reproducir colores según las necesidades de la tarea.

La iluminancia juega uno de los papeles más importantes porque determina la cantidad de luz incidente en el plano de trabajo. Evidentemente, si no existe un requisito básico para una cantidad de luz suficiente, es imposible realizar las tareas de visión de forma correcta, rápida, segura y sencilla [17].

### 3.7. MARCO LEGAL

En cuanto a las normativas legales y normas nacionales e internacionales relacionada con la instalación de iluminación interior existen: normas que regulan y promueven el uso de luminarias donde gestiona las características técnicas y la calidad de las instalaciones lumínicas (estructuras, materiales, equipos, etc.).

#### 3.7.1. Normas técnicas

Existen varias normas que aplican en el diseño del sistema de iluminación las cuales son tomadas en cuenta para la implementación que se va a realizar.

- **Definiciones:** las definiciones relacionadas con las instalaciones eléctricas se tratan en la norma NEC código NEC-SB-IE [18] [19].
- **Calibres de conductores:** Para la selección de los calibres de conductores mediante el cálculo que se realice se encuentra en el manual del electricista CENTELSA [20].

- **Selección del breaker:** Para la selección del breaker se lo realiza en base la corriente que se llega a obtener en la cual existen generalidades que se encuentra en la norma NTC 2050 [21].
- **Dimensionamiento de la carga:** Para la determinación reglamentaria de la sección del conductor consiste en calcular la sección mínima normalizada y se encuentra en la norma del MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA [22].
- **Niveles de iluminación interiores:** Los niveles de iluminación relacionados a las instalaciones interiores se encuentran en la norma UNE 12464.1 [23], norma RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) [24] y la norma UNE 12464 [25].
- **Iluminación LED:** Las características de la iluminación LED se puede encontrar en el catálogo SYLVANIA [26].

### 3.8. GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

#### 3.8.1. Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía del sol en forma de ondas electromagnéticas de varias frecuencias, como luz visible, rayos infrarrojos y rayos ultravioleta. Según la forma en que los rayos del sol afectan la superficie de la tierra, la radiación se puede dividir en [27]:

- **Directa**

Recibe directamente del sol y su dirección no ha cambiado.

- **Difusa**

Objetos que se desvían de la dirección por reflexión o absorción por las nubes.

- **Albedo**

Radiación directa o difusa reflejada principalmente desde la superficie de la tierra.

#### 3.8.2. Irradiancia

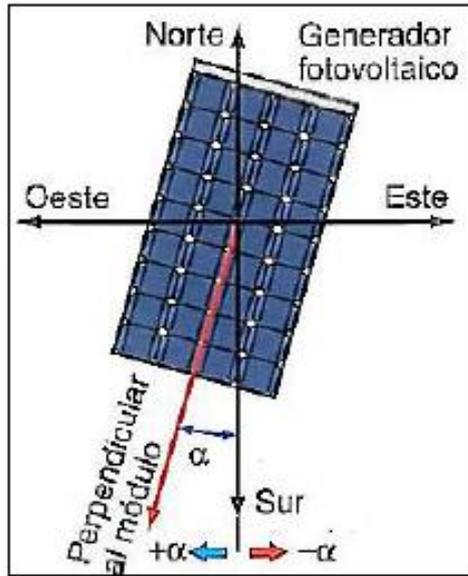
Es la potencia incidente en una determinada zona, que representa la intensidad de la radiación solar, y su unidad de medida es W/m<sup>2</sup> [28].

#### 3.8.3. Irradiación

Es la energía compuesta por la suma de la irradiancia en un intervalo de tiempo específico, generalmente una hora o un día, en kilovatios hora / metro cuadrado [28].

#### 3.8.4. Angulo de acimut ( $\alpha$ )

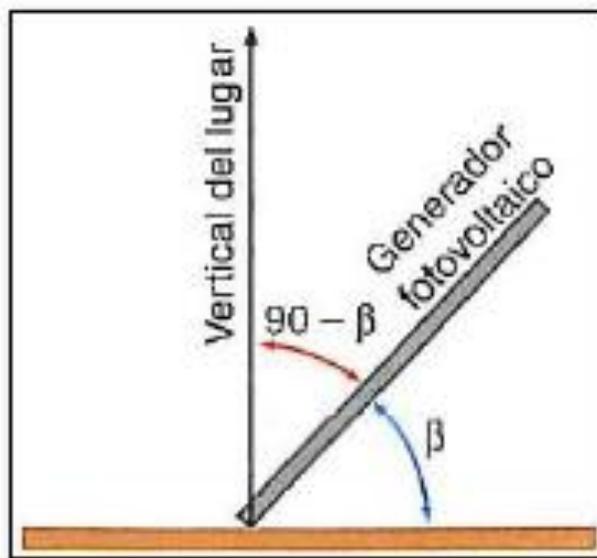
Es el ángulo medido perpendicular a la desviación de la superficie del módulo fotovoltaico con respecto al norte geográfico y en el sentido de las agujas del reloj; el ángulo azimutal se muestra gráficamente en la Figura 3.14 [9].



**Figura 3. 12.** Angulo de acimut ( $\alpha$ ) de un módulo fotovoltaico [9].

### 3.8.5. Angulo de inclinación ( $\beta$ )

El ángulo formado por la superficie del panel fotovoltaico y el plano horizontal es de  $90^\circ$  cuando se coloca verticalmente; la Figura 3.15 muestra gráficamente el ángulo de inclinación [9].



**Figura 3. 13.** Angulo de inclinación ( $\beta$ ) de un módulo fotovoltaico [9].

### 3.9. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas fotovoltaicos son una variedad de energía solar que utilizan paneles hechos de células de silicio policristalino y monocristalino para convertir la energía solar en electricidad. Debido a su impacto en el medio ambiente, estos sistemas se han estudiado ampliamente en todo el mundo. También utilizan electrónica de potencia e inversores DC-AC y convertidores DC-DC porque necesitan integrar el sistema SFV con la red de distribución [29].

El SFV consta de un conjunto de paneles fotovoltaicos, componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que juntos capturan la energía solar utilizable y la convierten en energía eléctrica utilizable.

Los paneles fotovoltaicos se pueden conectar en serie, en paralelo o en una combinación adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesarios para aplicaciones específicas.

Los módulos fotovoltaicos que componen el SFV (Figura 3.16) Están instalados sobre una estructura mecánica que puede soportarlos y están orientados a optimizar la radiación solar.



**Figura 3. 14.** Sistema fotovoltaico conectado a la red [29].

Para cada aplicación, el tamaño del SFV debe considerar lo siguiente:

- Carga eléctrica.
- Potencia pico.
- Latitud del lugar y radiación solar media anual del mismo.

- Características arquitectónicas específicas del edificio.
- Características eléctricas específicas de la carga.
- Posibilidad de conexión a la red eléctrica.

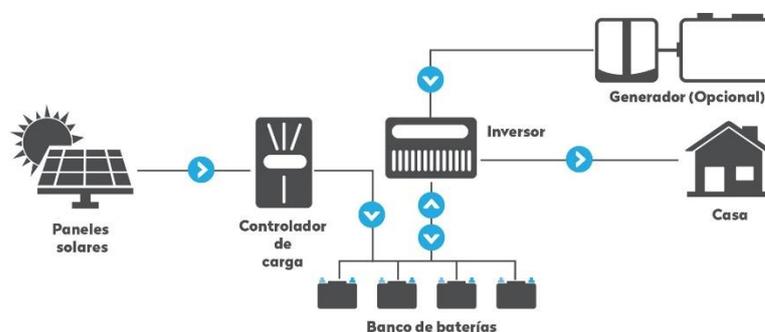
### 3.9.1. Clasificación de los SFV por su estructura

Los SFV, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías [30].

- Sistemas Fotovoltaicos Aislados
- Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)

#### 3.9.1.1. Sistema fotovoltaico aislado

Los sistemas aislados o autónomos son específicos para aplicaciones donde la red de distribución no está disponible. Debido a que estos sistemas no están conectados a la red, generalmente deben estar equipados con sistemas de acumulación de la energía generada, o baterías de almacenamiento; para utilizar la electricidad en períodos de baja generación o alta demanda, deben estar equipados con los correspondientes reguladores de carga, además puede tener un sistema electrónico asociado, un inversor, que permite convertir la energía DC proporcionada por el recolector de energía (paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas, pequeñas centrales hidroeléctricas u otros) en energía AC [3].



**Figura 3. 15.** Diagrama de un sistema aislado a la red eléctrica [31].

## 3.10. ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

### 3.10.1. Paneles Solares

Los módulos fotovoltaicos están compuestos por células solares o células encargadas de realizar el efecto fotovoltaico para convertir la energía del sol en energía eléctrica. Según la posición de los átomos de silicio, las células solares se dividen en tres tipos [32].

### 3.10.1.1. Silicio Monocristalino

Se caracteriza por una disposición ordenada y periódica, por lo que tiene solo una orientación cristalina casi perfecta, todos los átomos están dispuestos simétricamente y el grosor es de 1/3 a 1/2 mm, cortado de una varilla grande o fundido el lingote a 1400 °C. [28].

Su color es azul oscuro, incluso negro o incluso gris oscuro, y los bordes de sus hojas son redondeados. En este tipo de panel, el silicio monocristalino se genera en bloques y se corta en finas láminas, que se convertirán en las células fotovoltaicas del panel solar La figura 3.18 muestra la célula solar monocristalino [28].

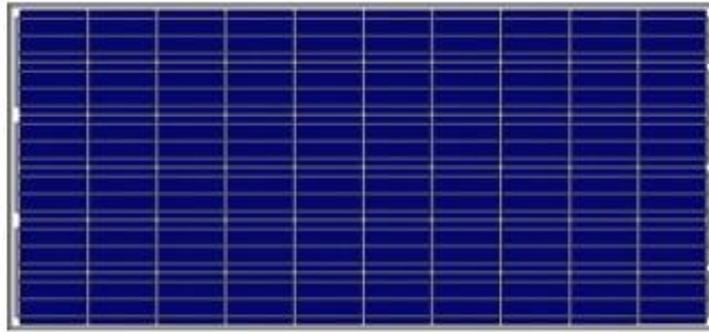


**Figura 3. 16.** Celda solar monocristalino [28].

### 3.10.1.2. Silicio policristalino

Estos están compuestos por partículas de silicio cristalino, y su uso en módulos solares constituye una estrategia de reducción de precio al reducir los costos de las obleas y su eficiencia (del 12% al 14%) [32].

La dirección de alineación cambia de vez en cuando durante el proceso de deposición, por lo que su eficiencia alcanza aproximadamente el 19,8% en el laboratorio y el 14% en el panel comercial. La imagen muestra una batería de polisilicio [28].



**Figura 3. 17.** Celda solar policristalino [32].

### 3.10.1.3. Silicio Amorfo

Estas celdas no tienen átomos de silicio dispuestos en forma de celosía, por lo que este material no tiene propiedades semiconductoras, su eficiencia en paneles comerciales está entre el 5-10% y en el laboratorio llega al 13% [9].



**Figura 3. 18.** Celda solar de silicio amorfo [28].

## 3.11. BATERIAS

Las baterías son dispositivos eléctricos que almacenan y descargan energía eléctrica y están diseñadas para cargarse y descargarse rápidamente y con retraso. En circunstancias normales, el paquete de baterías y el panel fotovoltaico trabajan juntos para suministrar energía a la carga. Las baterías se cargan con la electricidad generada por paneles solares, y pueden proporcionar energía en la salida del dispositivo, donde se consume [7].

La misión de las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar tensión de trabajo de la instalación.



**Figura 3. 19.** Baterías para sistemas fotovoltaicos [33].

La capacidad de la batería se mide en "amperios hora" (Ah), que es una medida comparativa de la corriente producida. Se debe especificar Ah para una tasa de descarga específica [33].

### 3.11.1. Tipos de baterías

Las baterías se clasifican según la tecnología de fabricación y el electrolito utilizado. En la Tabla 3.2, puede comparar los principales tipos de baterías que existen en el mercado [7].

**Tabla 3. 2.** Características de los principales tipos de baterías

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Auto descarga por mes	Nº de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio (\$)
Plomo-acido	2	8-16 horas	< 5%	500 - 800	30-50 Wh/kg	230
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20%	2000	50-80 Wh/kg	480
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20%	500 - 2000	60-120 Wh/kg	450
Li-ion (ion litio)	3,6	2-4 horas	6%	400 - 1200	110-160 Wh/kg	919

Las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las baterías de plomo-ácido porque tienen estas características.

### 3.12. INVERSOR

Un inversor es un dispositivo que convierte la corriente continua de cualquier dispositivo (12 voltios, 24 voltios o 48 voltios según la capacidad del inversor) en corriente alterna de 120 V 60 Hz o 220 V 50 Hz, que es igual al voltaje de la red. Es porque la mayoría de los electrodomésticos que se utilizan a diario están diseñados para funcionar con corriente alterna [34].

### 3.12.1. Inversor Híbrido

Es un inversor o cargador multifuncional que combina las funciones del inversor, cargador solar y cargador de CA a la batería para proporcionar un suministro de energía ininterrumpido. [35].

#### Características

- Inversor de onda senoidal pura.
- Intensidad de entrada regulable a través del display.
- Corriente de carga de las baterías regulable a través del display.
- Prioridad tanto de carga de baterías como de alimentación de cargas regulable.
- Inversor compatible con red eléctrica a 230V o con generador monofásico.
- Auto reinicio ante fallos de batería baja o consumo excesivo.
- Protección frente a sobrecarga / exceso de temperatura / corto circuito.
- Un pequeño cargador de batería diseñado para satisfacer necesidades de consumo adicionales y prolongar la vida útil de la batería.



**Figura 3. 20.** Inversor híbrido [35].

### 3.13. METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

#### 3.13.1. Cálculo de la Irradiación Global Diaria sobre la Superficie del Generador

Para determinar el ángulo de inclinación óptimo, se utiliza la ecuación 3.9 cuando se busca la cantidad máxima de energía solar recolectada durante todo el año [36].

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + 0,69|\phi| \quad (3.9)$$

Donde:

$\beta_{\text{opt}}$  : Ángulo de inclinación óptimo (grados)

$|\phi|$  : Latitud del lugar, sin signo (grados)

La constante K representa la relación entre el promedio mensual de radiación solar en el plano horizontal  $G_{dm}(0)$  y el mismo valor en el plano inclinado en el ángulo óptimo  $G_{dm}(0, \beta_{\text{opt}})$ . Si el período de diseño es en diciembre, el valor de esta constante es 1,7 y 1 en julio [36].

Si el sistema fotovoltaico no se puede inclinar de acuerdo con la inclinación óptima, el factor de reducción de energía llamado emisividad (FI) debe aplicarse mediante la siguiente expresión [36].

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2] \quad (3.10)$$

Donde:

FI : Factor de irradiación (sin unidades)

B : Inclinación real de la superficie (°)

$\beta_{\text{opt}}$  : Inclinación óptima de la superficie (°)

Si existe una sombra en el lugar donde se instalará el sistema fotovoltaico que pueda afectar el funcionamiento del generador, se aplica el factor de sombra FS para indicar la

sombra del porcentaje de radiación incidente sobre el generador en relación con la situación en la que se encuentra. no existe en absoluto [36].

Usando la ecuación (3.11), se puede determinar el promedio mensual de la irradiación diaria en la superficie del generador.

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \times K \times FI \times FS \text{ [Wh/m}^2\text{]} \quad (3. 11)$$

Donde:

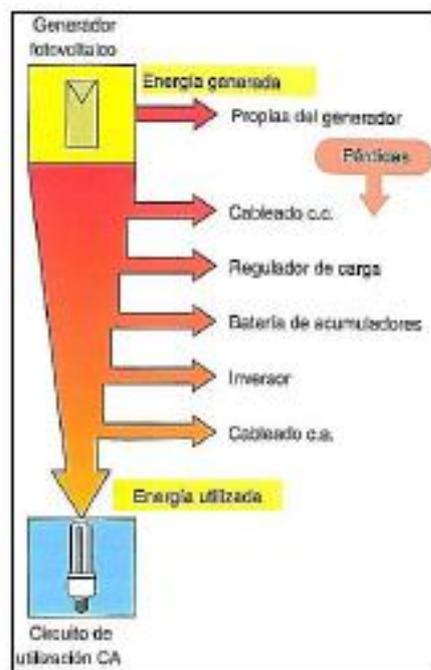
K: Constante (sin unidades)

FI: Factor de irradiación (sin unidades)

FS: Factor de sombreado, si la localidad del proyecto no existe presencia de sombras su valor es de 1 (sin unidades)

### 3.13.2. Calculo de los parámetros electricos del sistema fotovoltaico

Para calcular la potencia del sistema fotovoltaico, se debe considerar que parte de la energía eléctrica a generar se mantiene en el camino hasta llegar al receptor, como se muestra en la Figura 3.23 [37].



**Figura 3. 21.** Pérdidas de energía en un generador fotovoltaico aislado de la red eléctrica [9].

Estas pérdidas se agrupan en un solo factor, que incluye el rendimiento energético del dispositivo denominado PR (Performance Ratio). Si el sistema fotovoltaico autónomo tiene inversor, batería y regulador de carga, su valor es 0,6, y si el sistema tiene batería y regulador de carga, es 0,7 [9].

Utilice la siguiente expresión para calcular el valor mínimo de potencia  $P_{Gmin}$  del generador fotovoltaico.

$$P_{Gmin} = \frac{W_d \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR} \quad (3. 12)$$

Donde:

$P_{Gmin}$  : Potencia del generador (W)

$G_{CEM}$  : Irradiancia en condiciones CEM (constante de valor  $1000 \text{ W/m}^2$ )

$W_d$  : Consumo de energía diario (Wh)

$G_{dm}(\alpha, \beta)$  : Valor medio mensual de irradiación diaria sobre la superficie del generador ( $\text{Wh/m}^2$ )

PR: Rendimiento energético de la instalaciones expresado en uno

- **Numero de módulos**

$$N_p \times N_s \geq \frac{P_{Gmin}}{P_{max}} \quad (3. 13)$$

Donde:

$N_p$  : Número de paneles en paralelo (unidad)

$N_s$  : Número de paneles en serie (unidad)

$P_{Gmin}$  : Potencia del generador (W)

$P_{max}$  : potencia máxima del generador, obtenida de las características técnicas del panel solar (W)

- **Potencia total del generador**

$$P_{G_{\max}} = N_p \times P_{\max} \times N_s \text{ [W]} \quad (3.14)$$

- **Tensión de circuito abierto del generador**

$$U_{G_{oc}} = N_s \times U_{oc} \text{ [V]} \quad (3.15)$$

- **Intensidad de cortocircuito del generador**

$$I_{G_{sc}} = N_p \times I_{sc} \text{ [A]} \quad (3.16)$$

- **Tensión máxima del generador**

$$U_{G_{mpp}} = N_s \times U_{mpp} \text{ [V]} \quad (3.17)$$

- **Intensidad máxima del generador**

$$I_{G_{mpp}} = N_p \times I_{mpp} \text{ [A]} \quad (3.18)$$

Donde:

$U_{oc}$  : Tensión de circuito abierto (V)

$I_{sc}$  : Corriente en cortocircuito (A)

$U_{mpp}$  : Tensión punto máximo de potencia (V)

$I_{mpp}$  : Corriente punto máximo de potencia (A)

### 3.13.3. Dimensionamiento del Banco de Baterías

La capacidad del sistema de paquete de baterías se calcula en función del consumo diario promedio, por lo que primero determine este valor [9].

$$Q_d = \frac{W_d}{U_n} \quad (3.19)$$

Donde:

$Q_d$  : consumo medio diario (Ah/día)

$W_d$ : Energía media diaria (Wh/día)

$U_n$ : Tensión nominal del sistema de baterías (V)

Por lo tanto, la capacidad total del sistema acumulativo se calcula mediante expresión:

$$C_n = \frac{Q_d \times A}{PD_{\max} \times \eta_{\text{inv}} \times \eta_{\text{rb}}} \quad (3.20)$$

Donde:

$C_n$  : Capacidad de la batería de acumuladores para descarga en 20 horas (Ah)

$A$  : Días de autonomía del sistema (días)

$PD_{\max}$  : Profundidad de descarga máxima en tanto por uno

$\eta_{\text{inv}}$  : Rendimiento del inversor del 85% en tanto por uno

$\eta_{\text{rb}}$  : Rendimiento del conjunto de batería y regulador de carga del 80% en tanto por uno.

Si los componentes de la batería deben conectarse en serie o en paralelo, utilice la siguiente expresión [9]:

$$N_{\text{bs}} = \frac{U_n}{U_b} \quad (3.21)$$

$$N_{\text{bp}} = \frac{C_n}{C_b} \quad (3.22)$$

Donde:

$U_n$  : Tensión nominal del sistema de acumulación (V)

$U_b$  : Tensión de un elemento acumulador (V)

$N_{\text{bs}}$  : Número de elementos en serie

$C_n$  : Capacidad nominal del sistema de acumulación (Ah)

$C_b$  : Capacidad de un elemento acumulador (Ah)

$N_{\text{bp}}$  : Número de elementos en paralelo

### 3.13.4. Dimensionado del Inversor

La tensión de entrada nominal debe coincidir con la tensión nominal del sistema de control acumulado por lo que la potencia nominal  $S_n$  del inversor se determina de acuerdo con la

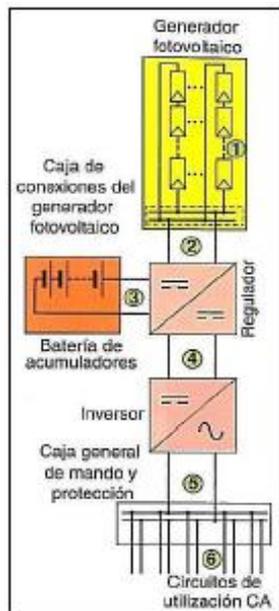
carga instalada del circuito eléctrico, y el factor de potencia se considera igual a 1, expresado en VA [9].

#### **3.13.4.1. Cálculo de los conductores y caídas de tensión del Sistema Fotovoltaico Autónomo**

Se requieren los datos de potencia o corriente, voltaje y longitud de diferentes partes de la instalación fotovoltaica. El segmento de línea característica es:

- a) Conexión de los módulos a la caja de conexiones del generador fotovoltaico: La corriente a considerar en este tramo será la intensidad de cortocircuito del generador.
- b) Conexión de la caja de conexiones del generador al inversor: La corriente a considerar es la intensidad de cortocircuito del generador.
- c) Conexión del inversor al sistema de acumulación: Se tiene que considerar la potencia del sistema de iluminación y el voltaje de las baterías.
- d) Conexión del inversor con la caja general de mando y protección de la instalación: La intensidad a considerar será la corriente de salida del inversor para su potencia nominal y la tensión nominal de utilización en corriente alterna.
- e) Circuitos de utilización: Debido a que este tramo corresponde a una trayectoria en corriente alterna se considera una caída de tensión del 3%.

En todas las partes, se debe considerar la intensidad multiplicada por 1,25 veces, porque la intensidad de todos los cables de conexión no debe ser inferior al 125% de la corriente máxima del generador como se puede ver en la Figura 3.24, las partes se representan gráficamente [9].



**Figura 3. 22.** Tramos de línea en un sistema fotovoltaico aislado sin considerar los dispositivos de protección [9].

- **Máxima Caída de Tensión Permitida**

La caída de tensión máxima que debe existir entre el sistema fotovoltaico y la caja de protección es del 3% de la corriente nominal [9].

Para distribuir la caída de tensión de cada parte, se puede aplicar el estándar de asignar el porcentaje más alto de caída de tensión al área de tensión nominal más baja, por lo que se puede aplicar una corriente mayor para que la distribución sea proporcional a la longitud, mientras que la parte restante se usa para el área de voltaje de clasificación más alta [9].

- **Tipos de Cable**

Para los tramos de DC el cable TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K 1,5/1,5 (1,8) kV DC es específicamente diseñado para soportar las condiciones más exigentes entre los paneles y la red de BT en corriente continua de una instalación solar y para los tramos de AC el cable TOPSOLAR PV H1Z2Z2-K está formado a partir de un conductor de cobre estañado (obligado por norma), un aislamiento libre de halógenos (LSZH) y cubierta de goma libre de halógenos.

- **Calculo por Caída de Tensión**

En el circuito de DC y AC use la ecuación 3.23, una de las diferencias es que el sistema fotovoltaico no considera el término  $\cos \varphi$  [9].

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \cos\varphi}{\Delta U_{\%} \times \gamma_{90}} \quad (3.23)$$

Donde:

S : Sección del conductor (mm<sup>2</sup>)

$\gamma_{90}$  : Conductividad del conductor a la temperatura de servicio 90°C (45S<sub>x</sub>m/mm<sup>2</sup>)

$\Delta U_{\%}$  : Máxima caída de tensión permitida el porcentaje de la tensión de la línea (V)

L : Longitud de la línea (m)

I : Intensidad de la línea (A)

Cos $\varphi$  : Factor de potencia de la carga al final de la línea

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. METODOS DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se efectúa la repotenciación y eficiencia del sistema de iluminación mediante energía fotovoltaica en el Laboratorio de control y máquinas de la Universidad Técnica Cotopaxi, estableciendo los diversos parámetros eléctricos requeridos, por otro lado, las técnicas, métodos y tipos de investigación que estarán acorde al estudio.

#### 4.1.1. Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación permite obtener un conocimiento claro sobre conceptos y estándares básicos basados en fuentes como libros, artículos científicos, revistas y periódicos para considerar el reabastecimiento y la eficiencia de los sistemas de iluminación que utilizan tecnología LED y fotovoltaica.

#### 4.1.2. Investigación de Campo

A través de la investigación de campo, se recopilan los principales parámetros e información relacionada con el cálculo del sistema fotovoltaico y se utilizan para el reabastecimiento del sistema de iluminación, con el fin de obtener una nueva configuración de acuerdo con los estándares de calidad de la iluminación.

#### 4.1.3. Métodos de Inductivo

El método inductivo se utiliza para recopilar y enumerar las medidas de iluminación realizadas con el medidor de iluminancia en el laboratorio de control y máquina de la Universidad Técnica de Cotopaxi, y el resultado obtenido de este refleja el estado actual del nivel de luz.

#### **4.1.4. Método Deductivo**

Al aplicar este método, además de determinar el número de paneles a instalar y sus respectivas disposiciones, reguladores de carga, paquetes de baterías e inversores, también se puede determinar la carga de instalación expresada en vatios para comprender los requisitos energéticos que debe cumplir.

#### **4.1.5. Método Analítico**

Este método se utiliza para obtener la metodología necesaria al analizar los valores medidos por el medidor de iluminancia y enumerados por inducción. Sobre esta base, se verificaron y compararon los límites establecidos por las leyes y regulaciones vigentes.

#### **4.1.6. Método Descriptivo**

Al describir la implementación del método, se elaboró un diagrama esquemático y se introdujeron en detalle los resultados obtenidos de la recolección y análisis de datos, el diseño del sistema de iluminación y la selección del sistema fotovoltaico.

### **4.2. MATERIALES E INSTRUMENTOS**

#### **4.2.1. La Observación**

La observación es la primera técnica utilizada para determinar el área total de iluminación y el espacio disponible para instalar módulos fotovoltaicos, utilizando cuadernos, registros, archivos y otras herramientas para guardar los resultados.

#### **4.2.2. Luxómetro**

El medidor de iluminancia le permite medir la intensidad de la luz de LED blancos, lámparas fluorescentes, vapor de sodio de alta presión y fuentes de luz incandescentes, con una capacidad de medición de hasta 4.000.000 lux. Una de sus principales características es su larga vida útil.

#### **4.2.3. Programa Dialux evo**

Dialux es un software profesional de libre acceso que puede ayudar a determinar el tamaño del sistema de iluminación. La mayoría de los fabricantes tienen diferentes modelos de

lámparas, utilizadas principalmente para registrar y probar la racionalidad de las instalaciones de iluminación.

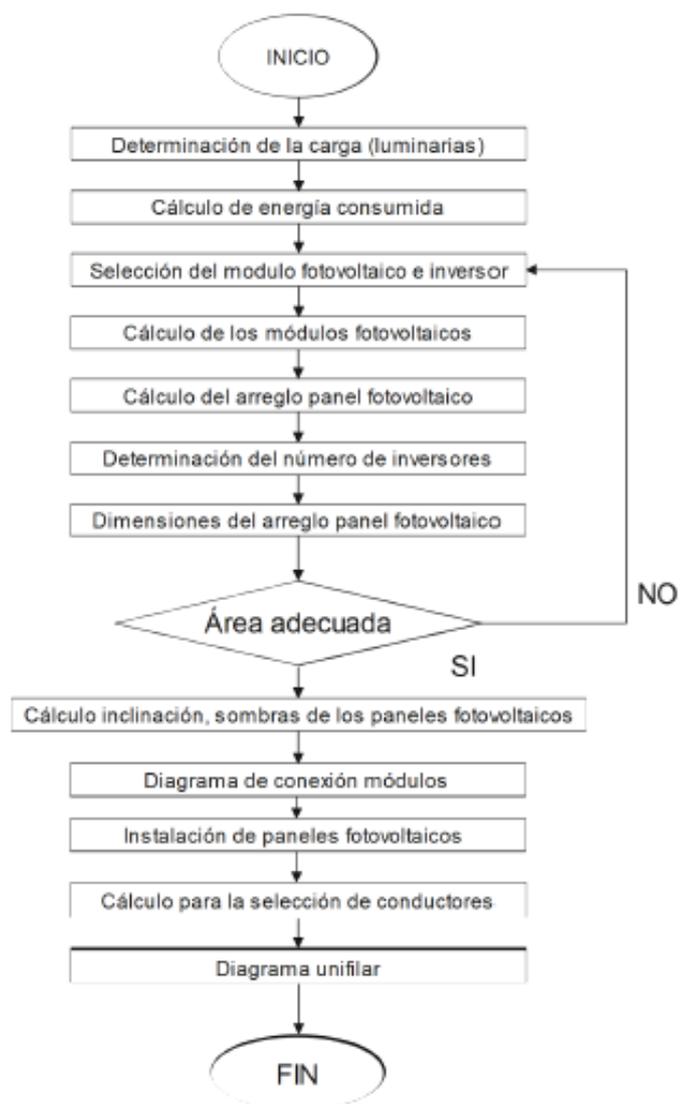
#### **4.2.4. Programa AutoCAD**

En el diseño de ingeniería de esta solución técnica, los requisitos mínimos incluyen planos correspondientes a la investigación del sistema de iluminación y del sistema fotovoltaico, por lo que se debe utilizar el programa AutoCAD para el diseño de planos eléctricos.

### **4.3. LISTA DE MATERIALES**

#### **4.3.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Para el cálculo, diseño e implementación del sistema fotovoltaico se necesita realizar los pasos del diagrama de flujo que se muestra en la Figura 4.1.



**Figura 4. 1.** Diagrama de flujo del sistema fotovoltaico.

#### 4.3.2. Determinación de la carga (luminarias)

Para realizar la determinación de la carga se necesita contar el número de luminarias que se encuentran en el laboratorio de control y máquinas luego el valor de la potencia de cada luminaria el cual se multiplica y se encuentra la potencia de todo el área de trabajo.

#### 4.3.3. Calculo de energía consumida

Para este cálculo se realiza un inventario de consumo de energía el cual se da a conocer cuántas luminarias están en cada sección, la potencia de la luminaria, las horas que va a

consumir energía por día para posteriormente calcular la potencia instalada del sistema de iluminación.

#### 4.3.4. Selección del módulo fotovoltaico e inversor

Su función principal es recibir la radiación generada por los rayos del sol y convertirla en electricidad [14]. Para este proyecto del sistema fotovoltaico para iluminación se optó por adquirir el module type: EGE-270P-60 con un voltaje máximo de 31.44 V, corriente máxima de 8.59 A y una potencia máxima de 270 W el cual se adquirió de acuerdo a las características técnicas del inversor que fueron tomados del Manual.

#### 4.3.5. Calculo de los módulos fotovoltaicos

Para el cálculo del número de módulos fotovoltaicos se necesita utiliza las ecuaciones (4.1) (4.2).

$$P_{Gmin} = \frac{W_d \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR} \quad (4.1)$$

$$N_p \times N_s \geq \frac{P_{Gmin}}{P_{max}} \quad (4.2)$$



**Figura 4. 2.** Paneles fotovoltaicos

#### 4.3.6. Calculo de inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos

Para el cálculo de la inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos se necesita conocer la latitud y longitud del lugar donde se va a realizar el estudio luego se procede a determinar el ángulo de inclinación óptimo mediante la ecuación (4.3).

$$\beta_{\text{opt}} = 3,7 + 0,69|\phi| \quad (4.3)$$

Para la orientación de los paneles fotovoltaicos se necesita ubicar en el plano cartesiano el lugar de estudio el cual se encuentra, ya que si se encuentra en el sur los paneles deben ir hacia el norte y si están en el norte los paneles deben ubicarse hacia el sur.

#### 4.3.7. Conductores

Los conductores y cables instalados en tubos Conduit y canalizaciones pueden considerarse arterias y venas a través de las cuales fluye la corriente. Por sus propiedades conductoras, constituye la parte más importante del sistema eléctrico. Para lo cual los diferentes circuitos del sistema de iluminación LED se utilizó el cable flexible de calibre # 14 AWG y para la alimentación se utilizó cable #6, para la conexión del inversor a las baterías se utilizó el cable #4 [38]. “Este producto fue adquirido por medio de empresa El Contactor (Avenida Amazonas 932 y Antonio José de Sucre)”.

Para el cálculo de la sección del conductor en el circuito de C.C y C.A use la ecuación (4.4) y para ellos se necesita tener la longitud del tramo, la corriente nominal, el voltaje.

$$S = \frac{200 \times L \times I \times \cos\phi}{\Delta U_{\%} \times \gamma_{90}} \quad (4.4)$$



Figura 4. 3. Conductores.

#### 4.3.8. Disyuntores o breakers

Es un dispositivo que puede interrumpir o desconectar el circuito cuando la intensidad de la corriente que fluye por el circuito supera un cierto valor o se produce un cortocircuito, con el fin de no provocar daños a los equipos eléctricos. Por ello para la protección del inversor se optó por adquirir un breaker SCNEIDER RIEL DIM de 1 polo a 20 amperios como también para el sistema de iluminación LED un breaker SQD de 1 polo a 10 amperios. “Este producto fue adquirido por medio de empresa El Contactor (Avenida Amazonas 932 y Antonio José de Sucre)”.

Para el cálculo de los elementos de protección se utiliza las ecuaciones (4.2) (4.3) y (4.4).

$$I_F = 2 \times I_{sc} \quad (4.2)$$

$$U_F = 1,2 \times U_{Goc} \quad (4.3)$$

$$I_{CT} = \frac{P_{CT}}{U_{nca}} \quad (4.4)$$



**Figura 4. 4.** Disyuntores o breakers

#### 4.3.9. Lámparas LED

Tiene la capacidad de convertir directamente la energía eléctrica en energía luminosa cuando son polarizados por medio de un campo eléctrico. Y así con estas lámparas se realizó la iluminación y se optó por adquirir luminaria EMP LED 4X18W 6000K de 100-240 V de la marca Maviju [5]. “Este producto fue adquirido por medio de empresa Procoineec (Avenida Unión Nacional 08-32 y Cevallos)”.

Para el cálculo del número de luminarias se utiliza la siguiente ecuación (4.7) (4.8).

$$\Phi_T = \frac{E \times S}{f_u \times f_m} \quad (4.7)$$

$$N = \frac{\Phi_T}{n \times \Phi_L} \quad (4.8)$$



**Figura 4. 5.** Lámparas LED

#### 4.3.1. Tubería Conduit y accesorios EMT

Permite la conducción de cableado eléctrico y lo mantiene asilado, lo protege contra todo tipo de amenazas que puede dañarlo en las instalaciones. Por ello para realizar las diferentes conexiones de los circuitos que conforma el sistema de iluminación led se optó adquirí con los siguientes diámetros de ½ pulgada para la instalación de los circuitos de iluminación realizada por áreas y 1 pulgada para la alimentación del sistema [38]. “Este producto fue adquirido mediante la empresa El Contactor (Avenida Amazonas 932 y Antonio José de Sucre)”.



**Figura 4. 6.** Accesorios para la tubería EMT.

### 4.3.2. Interruptor

Permite conectar o desconectar una luminaria, aparato o un grupo de aparatos desde un solo puesto de mando. Para poder controlar los diferentes circuitos que están dentro del sistema de iluminación se adquirió de dos interruptores simple de la marca veto, un interruptor doble de la marca Maviju [39]. “Este producto fue adquirido por medio de empresa El Contactor (Avenida Amazonas 932 y Antonio José de Sucre)”.



**Figura 4. 7.** Interruptor [39].

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. GENERALIDADES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

La Universidad Técnica de Cotopaxi se encuentra ubicada geográficamente en la Provincia de Cotopaxi Cantón Latacunga, en el barrio El Ejido. En la Figura 5.1, se delimita de color rojo el área correspondiente a las instalaciones de la Universidad y de color azul el área de estudio.



**Figura 5. 1.** Ubicación geográfica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

#### 5.1.1. Características del laboratorio de control y máquinas

El espacio destinado para el personal docente y estudiantes, dispone de un área aproximada de 124,20 m<sup>2</sup>, con un total de 4 secciones en las que se encuentra dividido el laboratorio de control y máquinas.

Cuenta con 8 módulos de control y automatización, 10 módulos de máquinas y equipos eléctricos con un total de 8 luminarias, misma que ocupan lámparas fluorescentes y se encuentran ubicadas en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi de la facultad de CIYA.

### 5.2. LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN CON LUMINARIAS FLUORESCENTES EN LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS

En el laboratorio del control y máquinas, se utilizan dos marcas de lámparas Sylvania y Narva, con las mismas características y color de iluminación blanco, se puede observar que existen lámparas las cuales están quemadas y no hay un mantenimiento adecuado para realizar el cambio de aquellas luminarias fluorescentes esto es debido a que en el mercado ya no se

vende mucho este tipo de luminarias. Además se tiene condiciones donde la luz natural tiene un acceso limitado y un nivel muy bajo de lúmenes, actualmente los laboratorios disponen de un sistema de iluminación deficiente como se puede visualizar en la Figura 5.2 y en el estudio de iluminación que se detalla en la Tabla 5.13.

### 5.2.1. Problemas de iluminación en el laboratorio de control y máquinas

Al realizar un recorrido por el laboratorio de control y máquinas se encontró con los siguientes problemas:

- Mínimo nivel de mantenimiento de lámparas.
- Bajo nivel de flujo luminoso de lámparas.
- Luminarias en mal estado.
- Mayor esfuerzo visual al usar los laboratorios.
- Mínimo ingreso de radiaciones de luz natural.
- La iluminación instalada no corresponde a las condiciones o niveles que se debe cumplir en laboratorios educativos.
- No se garantiza la iluminación adecuada de los sitios que implican riesgos en la vida de las personas.



**Figura 5. 2.** Laboratorios con luminarias fluorescentes.

### 5.2.2. Mediciones de los niveles de iluminación

Para realizar la medición del nivel de iluminación en los laboratorios de control y máquinas se utilizó el método de grillas o cuadrículas, este método ofrece mayor exactitud en

los resultados, en comparación con métodos similares, que facilitan enormemente la recopilación de datos que carecen de precisión.

### 5.2.3. Procedimiento para la medición de iluminación

Para la medición de los niveles de iluminación, el laboratorio está dividido en 4 secciones, como indica la Figura 5.3, en cada sección se efectuó el estudio de iluminación.



Figura 5. 3. División del laboratorio de control y máquinas.

Tabla 5. 1. Datos de la medición

DATOS DE LAS MEDICIONES			
Equipo utilizado	Luxómetro: Digisense 20250-0Serie: -140111581		
Metodología utilizada	Método de Grilla o Cuadrícula		
Metodología utilizada	Lunes 07 de junio del 2021	Hora inicio	8:00h00
		Hora finalización	12:00h00
Condiciones atmosféricas	Temperatura mínima 10°C máxima 19°C.		
Observaciones	Las mediciones se ejecutaron en un área de 124,20 m <sup>2</sup> , el laboratorio de control y maquinas totalmente vacío, para evitar deslumbramientos.		

- **Estudio de iluminación en la sección A1**

Para la toma de datos de los niveles de iluminación con el luxómetro se realizó el método de grilla o cuadrícula, en la cual cuenta con la siguiente información para la sección A1:

**Tabla 5 2.** Sección A1

Datos	Denominación (m)	
Ancho	a	4,60
Largo	b	11,60
Altura del laboratorio	h'	3,80
Plano de trabajo	d	0,88

Para calcular la altura de montaje sobre el plano de trabajo es:  $3,80 - 0,88 = 2,92$ .

$$K = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$K = \frac{11,60 \times 4,60}{2,92 \times (11,60 + 4,60)}$$

$$K = 1,1280$$

Una vez obtenido el índice local K se procede a calcular el número mínimo de puntos para la medición a través de la Tabla 5.3 según la resolución SRT 84/12. La cual permite redondear el valor para la determinación del número mínimo de puntos a evaluar y para este caso el número de puntos es 16.

**Tabla 5. 3.** Índice local redondeado

Índice del local (K) Res SRT 84/12	x (K redondeado)	N Número mínimo de puntos a evaluar
$\leq 1$	1	9
$1 < K \leq 2$	2	16
$2 < K \leq 3$	3	25
$K > 3$	4	36

En la Figura 5.4, se puede observar la ubicación de los puntos de medición correspondiente a la sección A1, el cual se realizó en el software AutoCAD.



**Figura 5. 4.** Puntos de medición sección A1.

El sensor del luxómetro se ubicó a una altura de 0.8 m sobre el nivel del suelo en posición horizontal según la GUÍA PRACTICA N°1 GERENCIA DE PREVENCIÓN [41] y los valores obtenidos se muestran en la Tabla 5.4.

**Tabla 5. 4.** Resultados de los niveles de iluminación en la Sección A1

SECCIÓN A1				
N°	FILA 1	FILA 2	FILA 3	FILA 4
COLUMNA 1	140,2	148,8	144,2	139,5
COLUMNA 2	160,3	177,8	168,5	165,3
COLUMNA 3	142,2	145,6	140,5	139,5
COLUMNA 4	137,3	140,9	138,9	134,4
Valor Total Medio LUX	147,7438			

Con los resultados obtenidos por los puntos de la sección A1 se sacó la media aritmética ponderada que consiste en sumar las iluminancias y dividir por el número total de puntos evaluados, y con esto se encuentra la iluminación media  $E_m$ .

$$E_m = \frac{(140,2 + 148,8 + 144,2 + 139,5 + 160,3 + 177,8 + 168,5 + 165,3 + 142,2 + 145,6 + 140,5 + 139,5 + 137,3 + 140,9 + 138,9 + 134,4) \text{lx}}{16}$$

$$E_m = 147,7438$$

- **Estudio de iluminación en la sección A2**

Para la toma de datos de los niveles de iluminación con el luxómetro se realizó el método de grilla o cuadrícula, en la cual cuenta con la siguiente información para la sección A2:

**Tabla 5. 5.** Sección A2

Datos	Denominación (m)	
Ancho	A	4,35
Largo	B	10,55
Altura del laboratorio	h'	3,80
Plano de trabajo	D	0,88

Para calcular la altura de montaje sobre el plano de trabajo es:  $3,80 - 0,88 = 2,92$ .

$$K = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$K = \frac{10,55 \times 4,35}{2,92 \times (10,55 + 4,35)}$$

$$K = 1,0634$$

Una vez obtenido el índice local K se procede a calcular el número mínimo de puntos para la medición a través de la Tabla 5.3 según la resolución SRT 84/12. La cual permite redondear el valor para la determinación del número mínimo de puntos a evaluar y para este caso el número de puntos es 16.

En la Figura 5.5, se puede observar la ubicación de los puntos de medición correspondiente a la sección A2, el cual se realizó en el software AutoCAD.

**Figura 5. 5.** Puntos de medición sección A2

El sensor del luxómetro se ubicó a una altura de 0.8 m sobre el nivel del suelo en posición horizontal según la GUÍA PRACTICA N°1 GERENCIA DE PREVENCIÓN [41] y los valores obtenidos se muestran en la Tabla 5.6.

**Tabla 5. 6.** Resultados de los niveles de iluminación en la sección A2

SECCIÓN A2				
N°	FILA 1	FILA 2	FILA 3	FILA 4
COLUMNA 1	98,3	104,8	100,8	90,2
COLUMNA 2	160,5	180,2	164,8	150,8
COLUMNA 3	155,2	175,9	152,7	145,8
COLUMNA 4	149,3	172,4	149,7	140,6
Valor Total Medio LUX	143,2500			

Con los resultados obtenidos por los puntos de la sección A2 se sacó la media aritmética ponderada que consiste en sumar las iluminancias y dividir por el número total de puntos evaluados, y con esto se encuentra la iluminación media  $E_m$ .

$$E_m = \frac{(98,3 + 104,8 + 100,8 + 90,2 + 160,5 + 180,2 + 164,8 + 150,8 + 155,2 + 175,9 + 152,7 + 145,8 + 149,3 + 172,4 + 149,7 + 140,6) \times}{16}$$

$$E_m = 143,2500$$

- **Estudio de iluminación en la sección B1**

Para la toma de datos de los niveles de iluminación con el luxómetro se realizó el método de grilla o cuadrícula, en la cual cuenta con la siguiente información para la sección B1:

**Tabla 5. 7.** Sección B1

Datos	Denominación (m)	
Ancho	A	4,60
Largo	B	2,20
Altura del laboratorio	h'	2,62
Plano de trabajo	D	0,88

Para calcular la altura de montaje sobre el plano de trabajo es:  $2,62 - 0,88 = 1,74$ .

$$K = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$K = \frac{2,20 \times 4,60}{1,74 \times (2,20 + 4,60)}$$

$$K = 0,8553$$

Una vez obtenido el índice local K se procede a calcular el número mínimo de puntos para la medición a través de la Tabla 5.3 según la resolución SRT 84/12. La cual permite redondear el valor para la determinación del número mínimo de puntos a evaluar y para este caso el número de puntos es 16.

En la Figura 5.6, se puede observar la ubicación de los puntos de medición correspondiente a la sección B1, el cual se realizó en el software AutoCAD.



**Figura 5. 6.** Puntos de medición sección B1

El sensor del luxómetro se ubicó a una altura de 0.8 m sobre el nivel del suelo en posición horizontal según la GUÍA PRACTICA N°1 GERENCIA DE PREVENCIÓN [41] y los valores obtenidos se muestran en la Tabla 5.8.

**Tabla 5. 8.** Resultados del nivel de iluminación en la sección B1

SECCIÓN B1			
N°	FILA 1	FILA 2	FILA 3
COLUMNA 1	134,6	170,9	137,2
COLUMNA 2	129,4	163,8	133,4
COLUMNA 3	125,3	160,2	131,2
Valor Total Medio LUX		142,8889	

Con los resultados obtenidos por los puntos de la sección B1 se sacó la media aritmética ponderada que consiste en sumar las iluminancias y dividir por el número total de puntos evaluados, y con esto se encuentra la iluminación media  $E_m$ .

$$E_m = \frac{(134,6 + 170,9 + 137,2 + 129,4 + 163,8 + 133,4 + 125,3 + 160,2 + 131,2) \times}{9}$$

$$E_m = 142,8889$$

- **Estudio de iluminación en la sección B2**

Para la toma de datos de los niveles de iluminación con el luxómetro se realizó el método de grilla o cuadrícula, en la cual cuenta con la siguiente información para la sección B2:

**Tabla 5. 9.** Sección B2

Datos	Denominación (m)	
Ancho	a	4,35
Largo	b	3,25
Altura del laboratorio	h'	3,80
Plano de trabajo	d	0,88

Para calcular la altura de montaje sobre el plano de trabajo es:  $2,62 - 0,88 = 1,74$ .

$$K = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})}$$

$$K = \frac{3,25 \times 4,35}{1,74 \times (3,25 + 4,35)}$$

$$K = 1,0691$$

Una vez obtenido el índice local K se procede a calcular el número mínimo de puntos para la medición a través de la Tabla 5.3 según la resolución SRT 84/12. La cual permite redondear el valor para la determinación del número mínimo de puntos a evaluar y para este caso el número de puntos es 16.

En la Figura 5.7, se puede observar la ubicación de los puntos de medición correspondiente a la sección B1, el cual se realizó en el software AutoCAD.

**Figura 5. 7.** Puntos de medición sección B2

El sensor del luxómetro se ubicó a una altura de 0.8 m sobre el nivel del suelo en posición horizontal según la GUÍA PRACTICA N°1 GERENCIA DE PREVENCIÓN [41] y los valores obtenidos se muestran en la Tabla 5.10.

**Tabla 5. 10.** Resultados del nivel de iluminación en la sección B2

SECCIÓN B2				
N°	FILA 1	FILA 2	FILA 3	FILA 4
COLUMNA 1	78,2	62,5	92,5	88,3
COLUMNA 2	60,8	61,5	84,6	60,8
COLUMNA 3	19,3	20,5	21,3	19,7
COLUMNA 4	10,1	15,3	11,2	11,7
Valor Total Medio LUX	44,8938			

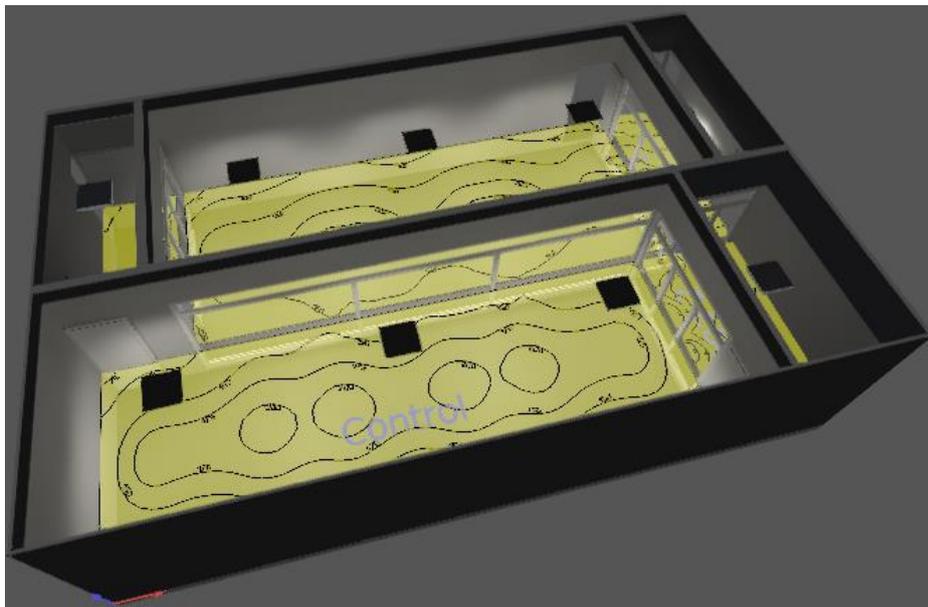
Con los resultados obtenidos por los puntos de la sección B2 se sacó la media aritmética ponderada que consiste en sumar las iluminancias y dividir por el número total de puntos evaluados, y con esto se encuentra la iluminación media  $E_m$ .

$$E_m = \frac{(78,2 + 62,5 + 92,5 + 88,3 + 60,8 + 61,5 + 84,6 + 60,5 + 19,3 + 20,5 + 21,3 + 19,7 + 10,1 + 13,3 + 11,2 + 11,7) \times}{16}$$

$$E_m = 44,7500$$

#### 5.2.4. Simulación del sistema de iluminación con luminarias fluorescentes mediante el software Dialux evo

Esta etapa consiste en la modelación de los laboratorios de control y máquinas que se tomó como base para la evaluación de las luminarias fluorescentes, en la Figura 5.8 se puede evidenciar el modelo de los laboratorios.

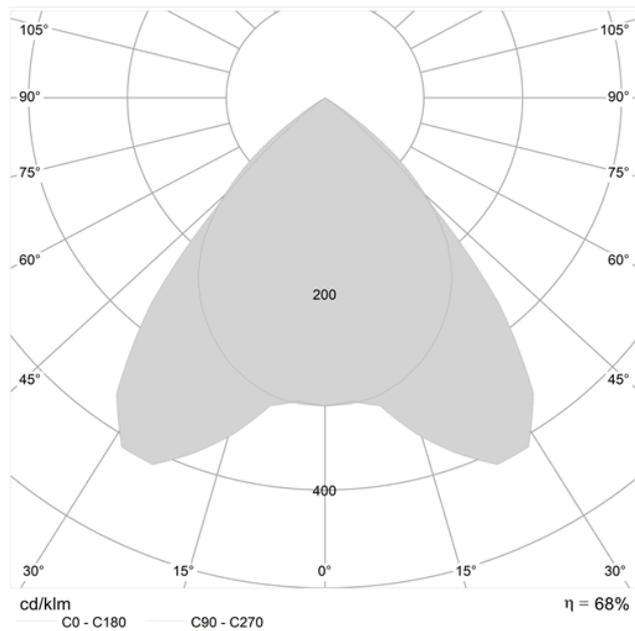


**Figura 5. 8.** Laboratorios de control y máquinas con luminarias fluorescentes.

### 5.2.4.1. Distribución lumínica

En la Figura 5.9 se tiene la curva fotométrica la cual se obtuvo del catálogo REGIOLUX, aquí se puede apreciar la cantidad de iluminación en el plano de trabajo, así como la uniformidad y cualquier otro parámetro lumínico, en este caso se utilizó en el Dialux Evo las luminarias fluorescentes de dicho catálogo para conocer en cada sección la cantidad de lúmenes y saber si cumple o no con la normativa vigente como es la UNE 12464 y RETIE.

En la Tabla 5.11 se tiene las especificaciones técnicas que tienen las luminarias fluorescentes utilizadas en el software.



**Figura 5. 9.** Curva fotométrica de luminarias fluorescentes.

**Tabla 5. 11.** Especificaciones técnicas.

<b>Descripción</b>	3.4.T5 BESS12 314
<b>Nº Referencia</b>	5055750
<b>Montaje</b>	Empotrado
<b>Color</b>	Blanco
<b>LOR (%)</b>	68%
<b>Valor IP</b>	20
<b>Valor IK</b>	-
<b>Lugar de utilización</b>	Lámpara interior
<b>Distribución</b>	directo
<b>Potencia</b>	32 w
<b>Flujo luminoso</b>	1200 lm
<b>Tensión</b>	110 - 240 V
<b>Temperatura</b>	4000 K

Su diseño se basa en factores como: niveles de iluminación, índice de uniformidad, debido al incumplimiento de que alguna lámpara afectará negativamente y no se tiene un proyecto con niveles de calidad, es por ello que de acuerdo al diseño realizado en la Tabla 5.12 se tiene los valores de iluminación media, mínima, máxima, mínimo-medio y mínimo-máximo para cada sección del laboratorio de control y máquinas.

**Tabla 5. 12.** Resultados obtenidos mediante el software Dialux.

SECCIÓN		LUMENES (lx)
A1	Medio	164 lx
	Mínimo	62,8 lx
	Máximo	242 lx
	Mínimo-medio	0,38
	Mínimo-máximo	0,26
A2	Medio	155 lx
	Mínimo	65,6 lx
	Máximo	212 lx
	Mínimo-medio	0,42
	Mínimo-máximo	0,31
B1	Medio	127 lx
	Mínimo	30,5 lx
	Máximo	236 lx
	Mínimo-medio	0,24
	Mínimo-máximo	0,13
B2	Medio	22,3 lx
	Mínimo	5,06 lx
	Máximo	68,1 lx
	Mínimo-medio	0,23
	Mínimo-máximo	0,074

#### 5.2.5. Análisis de los resultados obtenidos mediante el cálculo realizado y el software Dialux Evo

Una vez realizado el cálculo y el diseño en el software los resultados obtenidos para todas las secciones se describen en la Tabla 5.13 y Tabla 5.14, donde se indica si los niveles de iluminación para estas secciones cumplen con los rangos descritos en la normativa correspondiente.

**Tabla 5. 13.** Resultados de los niveles de iluminación obtenidos mediante el cálculo realizado.

Sección	Descripción	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumplimiento UNE 12464 y RETIE
A1	Área de maquinas	147,74	300-500	NO
A2	Área de control y automatización	143,25	300-500	NO
B1	Bodega 1	142,88	200	NO
B2	Bodega 2	44,89	200	NO

**Tabla 5. 14.** Resultados obtenidos de los niveles de iluminación mediante el software Dialux Evo.

Sección	Descripción	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumplimiento UNE 12464 y RETIE
A1	Área de maquinas	164	300-500	NO
A2	Área de control y automatización	155	300-500	NO
B1	Bodega 1	127	200	NO
B2	Bodega 2	22,3	200	NO

Entonces se puede ver que los niveles actuales de iluminación en los laboratorios de control y máquinas, ninguna medición realizada cumple con las normativas específicas, esto se debe principalmente a la deficiencia que existe por falta de tubos fluorescentes en las lámparas, afectando directamente la visibilidad de los estudiantes al realizar sus respectivas prácticas, es por eso que estos factores afectan negativamente y disminuye la calidad de los niveles de iluminación (véase Figura 5.10).



a) Sección A1



b) Sección A2

**Figura 5. 10.** Estado actual de los niveles de iluminación en los laboratorios a) Sección A1 b) Sección A2

La norma UNE 12464 y RETIE establece los siguientes niveles de iluminación a considerar:

- a) Laboratorios 300 - 500 lx
- b) Bodegas 200 lx

### 5.3. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LAS LÁMPARAS CON LUMINARIAS FLUORESCENTES Y LUMINARIAS LED

Una vez realizado el levantamiento del sistema de iluminación se procede a realizar un análisis técnico y económico de dos tipos de lámparas como son las fluorescentes y las LED donde se tiene que tomar en cuenta el costo, la potencia requerida por lámpara, la luminosidad requerida y la vida útil de cada lámpara.

Donde con este análisis se pretende seleccionar el tipo de lámpara a utilizarse para el cumplimiento de las normativas vigentes de iluminación interior y tener una mejor eficiencia energética al realizar el nuevo diseño y la implementación del sistema de iluminación fotovoltaico en los laboratorios de máquinas y control.

En la Tabla 5.15 y la Tabla 5.16 se indica la comparación que se efectúa entre las luminarias fluorescentes y las luminarias LED.

**Tabla 5.15.** Características técnicas de las luminarias LED y luminarias fluorescentes

Características	Luminarias LED	Luminarias fluorescentes
Número de unidades	56	56
Potencia nominal	18 W	32 W
Balasto	NO	Autotransformador eléctrico
Carga instalada	1008 W	1792 W
Flujo luminoso de la lámpara	1850 lm	2100 lm
Vida útil de la lámpara	20000 horas	5000 horas
Temperatura de color	blanco neutro	blanco frio
Eficiencia luminosa	160 lm/W	65 lm/W
Protección	IP 65	IP 65
Consumo energético	Bajo	Alto
Ahorro energético y económico	Excelente	Alto
Contaminación del medio ambiente	Ninguno	Alto
Costos de mantenimiento	Bajos	Alto
Índice de reproducción de color (CRI)	> 0.92	20
Índice de temperatura de color (CCT)	6500 Kelvin	6500 Kelvin
Rendimiento fotométrico	Excelente	Bajo

**Tabla 5. 16.** Análisis económico de las luminarias fluorescentes y LED

	Fluorescentes	LED
potencia (W)	32	18
Vida útil (horas)	5000	20000
Flujo luminoso (lm)	2100	1850
Precio (\$)	2,50	1,65
Energía (kWh)	7,168	4,032
Costo energía (\$)	0,7383	0,4152
Costo lámparas (\$)	60	40
Costo total (\$)	<b>60,7383</b>	<b>40,4152</b>

Como se observa las luminarias LED poseen una mayor eficiencia luminosa y vida útil en comparación con las luminarias fluorescentes ya que estas luminarias presenta deficiencia luminosa y vida útil baja, es por eso que se debe realizar el cambio y el aumento del número de unidades requeridas de luminarias LED en los laboratorios de control y máquinas esto se realizara con el fin de cumplir con los niveles de iluminación de acuerdo a normativas como es la UNE 12464 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE.

Además se puede observar que en la Tabla 5.16 económicamente las luminarias LED tienen un precio menor a las luminarias fluorescentes esto es debido a que hoy en día son utilizadas más este tipo de luminarias por su vida útil y su menor costo de energía.

#### **5.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN CON LUMINARIAS LED EN LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS**

Para el diseño del sistema de iluminación LED se tiene un gran crecimiento en la actualidad, ya que tiene diversas ventajas como es el ahorro energético, produce poca emisión de calor, produce luz nítida y brillante con un encendido inmediato evitando parpadeos, esto hace que el desarrollo de este proyecto se centre en brindar niveles de calidad de iluminación.

##### **5.4.1. Características principales de las luminarias**

En el diseño del proyecto destinado para laboratorios se requiere de luminarias cuyo paquete lumínico, vida útil y perfil energético se adapten para brindar una solución óptima y segura en el lugar donde serán instaladas.

Para el diseño y la implementación de tecnología LED es necesario el uso de luminarias de alto rendimiento, con la finalidad de cumplir los niveles de iluminación dados por las

normativas UNE 12464 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, cuyas características de la luminaria LED se muestran en la Tabla 5.17.

**Tabla 5. 17.** Datos de luminarias LED

Potencia (W)	Tensión de Operación (V)	Flujo Luminoso (lm)	Eficacia (lm/w)	Temp. de color (K)	Irc	Vida útil (h)
9	100-240	800	89	6500	>70	20000
9	100-240	800	83	4000	>70	20000
9	100-240	800	83	3000	>70	20000
18	100-240	1600	89	6500	>70	20000
18	100-240	1600	78	4000	>70	20000
18	100-240	1850	78	3000	>70	20000
18	100-240	1850	100	6500	>70	30000

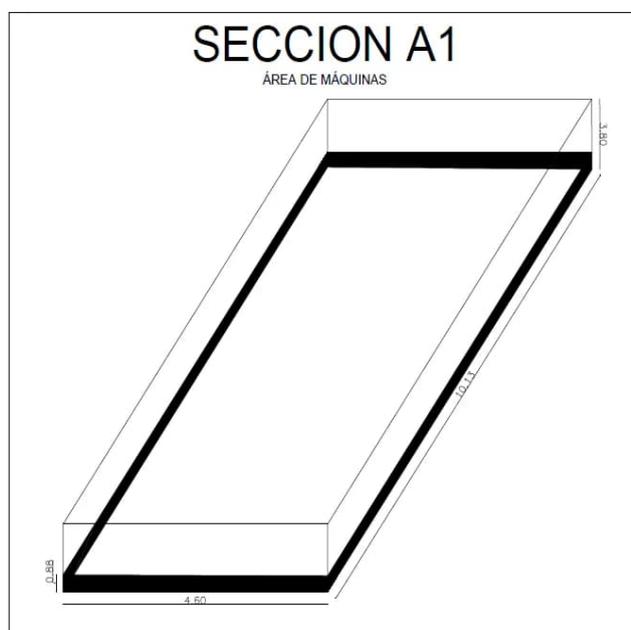
### 5.4.2. Estudio Técnico del sistema de iluminación

#### 5.4.2.1. Estudio de iluminación en la sección A1

- Cálculo del índice del local (k)

**Tabla 5. 18.** Sección A1

Datos	Denominación (m)	
Ancho	a	4,10
Largo	b	10,55
Altura del laboratorio	h'	3,80
Plano de trabajo	d	0,88



**Figura 5. 11.** Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo.

Altura de montaje de luminarias sobre el plano de trabajo:  $3,80 - 0,88 = 2,92$

Método de cuadrícula o grilla:

$$K = \frac{11,60 \times 4,60}{2,92 \times (11,60 + 4,60)}$$

$$K = 1,1280$$

- **Cálculo coeficiente de reflexión**

Para determinar el coeficiente de reflexión se verificó el acabado de pisos, paredes y techos basándonos en la Tabla 5.19 tabulada se tiene los siguientes valores:

**Tabla 5. 19.** Coeficiente de reflexión

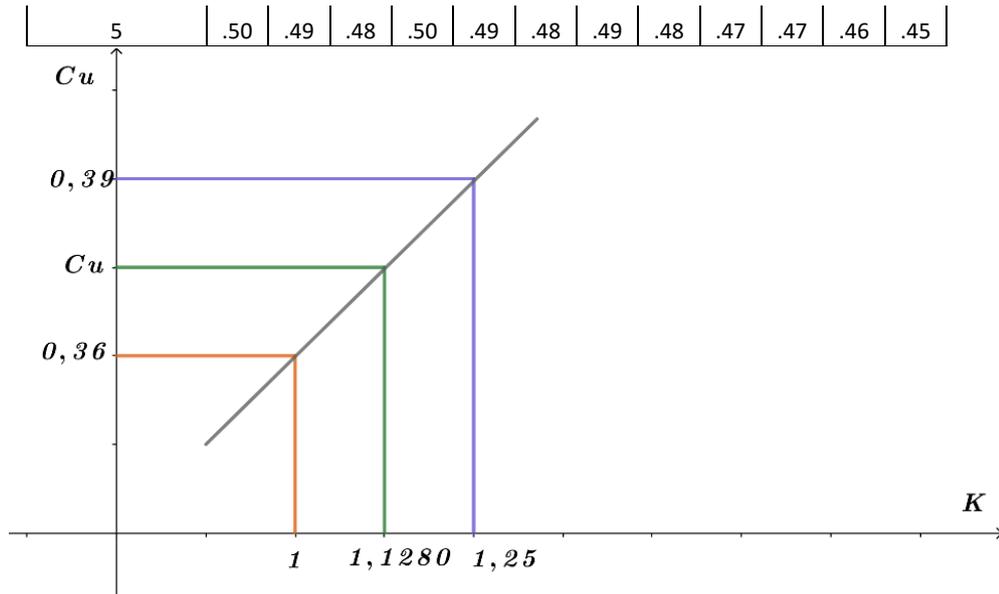
	Coeficiente de reflexión
Techo	0,7
Pared	0,5
Piso	0,2

- **Cálculo coeficiente de utilización**

Para calcular el coeficiente de utilización se utilizó la tabla tabulada internacionalmente del manual de luminotecnia Sylvania, tomando en cuenta el valor del índice local (k)=1,1280, los coeficientes de reflexión.

**Tabla 5. 20.** Coeficiente de utilización.

Coef. Techo	Factor de utilización											
	0,8			0,7			0,5			0,3		0
Coef. Pared	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,3	0,1	0
Coef. Piso	0,2											0
Índice local K												
0,6	.27	.24	.21	.27	.23	.21	.27	.23	.21	.23	.21	.20
0,8	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.28	.26	.28	.26	.25
1	.36	.33	.30	.36	.33	.30	.35	.32	.30	.32	.30	.29
1,25	.40	.36	.34	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.36	.34	.33
1,5	.42	.40	.37	.42	.39	.37	.41	.39	.36	.38	.36	.35
2	.45	.42	.40	.44	.42	.40	.44	.42	.40	.41	.40	.39
2,5	.47	.45	.43	.46	.44	.42	.45	.44	.42	.43	.42	.41
3	.48	.47	.44	.47	.46	.44	.47	.45	.44	.44	.43	.42
4	.50	.48	.46	.49	.48	.46	.48	.47	.46	.46	.45	.44



**Figura 5. 12.** Curva para determinar el coeficiente de utilización.

La lectura directa no es posible, así que se debe interpolar:

$$m = \frac{Cu_2 - Cu_1}{K_1 - K_2} = \frac{0,39 - 0,36}{1,25 - 1} = 0,12$$

$$m = \frac{Cu - Cu_1}{K - K_1} = \frac{Cu - 0,36}{1,1280 - 1} = \frac{Cu - 0,36}{0,1280}$$

Igualando las ecuaciones

$$Cu - 0,36 = 0,12 \times 0,1280$$

$$Cu = (0,12 \times 0,1280) + 0,36 = 0,3754$$

Como este valor es un porcentaje, en realidad, estamos hablando de:  $Cu = 0,3754$

- **Cálculo factor de mantenimiento**

Consiste en el nivel de mantenimiento que se tiene en las luminarias.

**Tabla 5. 21.** Coeficiente de mantenimiento

AMBIENTE	COEFICIENTE DE MANTENIMIENTO (fm)
Limpio	0,8
Sucio	0,6

- **Cálculo Flujo luminoso que se necesita**

**Datos:**

$\phi T$  = Flujo total que necesita en el laboratorio

$E$  = 300 lux requeridos por la norma

$S$  = 53,36 m<sup>2</sup>

$C_u$  = 0.3754

$C_m$  = 0.8

$$\phi T = \frac{E \times S}{C_u \times C_m}$$

$$\phi T = \frac{300 \times 53,36 \text{ m}^2}{0,3754 \times 0,8} = 64342,7963 \text{ lumenes}$$

El flujo total que se necesita en el laboratorio es 64342,7963 lm

- **Número de luminarias para alcanzar el nivel adecuado**

**Datos:**

$\phi NL$  = Número de luminarias

$\phi T$  = 64342,7963 lm

$\phi L$  = Flujo luminoso de una lámpara LED = 1850 lm

$n$  = Número de luminarias que tiene una lámpara (4 unidades)

$$N = \frac{\phi T}{n \times \phi L}$$

$$N = \frac{64342,7963}{4 \times 1850} = 7,2031$$

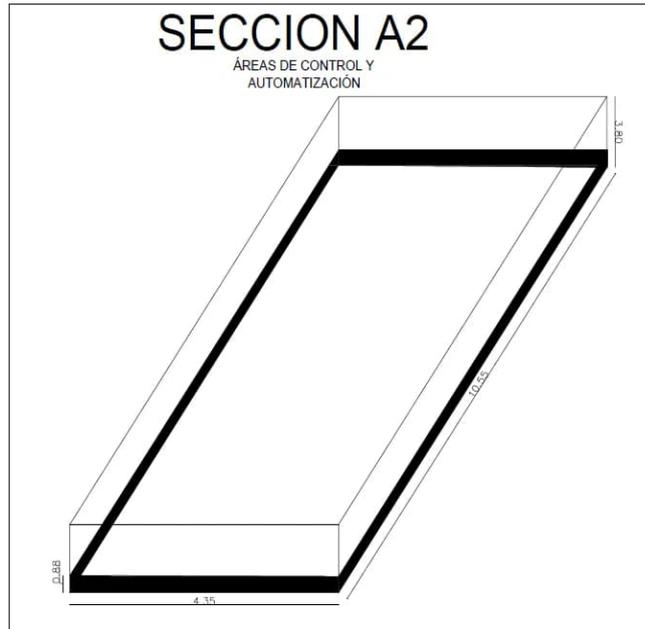
Se tendría que utilizar 7 lámparas para alcanzar el flujo luminoso estimado.

#### 5.4.2.2. Estudio de iluminación en la sección A2

- **Cálculo del índice del local (k)**

**Tabla 5. 22.** Sección A2

Datos	Denominación (m)	
Ancho	a	4,35
Largo	b	10,55
Altura del laboratorio	h'	3,80
Plano de trabajo	d	0,88



**Figura 5. 13.** Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo.

Altura de montaje de luminarias sobre el plano de trabajo:  $3,80 - 0,88 = 2,92$

Método de cuadrícula o grilla:

$$K = \frac{10,55 \times 4,35}{2,92 \times (10,55 + 4,35)}$$

$$K = 1,0634$$

- **Cálculo coeficiente de reflexión**

Para determinar el coeficiente de reflexión se verificó el acabado de pisos, paredes y techos basándonos en la Tabla 5.19 tabulada.

- **Cálculo coeficiente de utilización**

Para calcular el coeficiente de utilización se utilizó la tabla tabulada internacionalmente del manual de luminotecnia Sylvania de la Tabla 5.20, tomando en cuenta el valor del índice local  $(k)=1,0634$ , los coeficientes de reflexión.

La lectura directa no es posible, así que se debe interpolar de acuerdo a la Figura 5.13:

$$m = \frac{Cu_2 - Cu_1}{K_1 - K_2} = \frac{0,39 - 0,36}{1,25 - 1} = 0,12$$

$$m = \frac{Cu - Cu_1}{K - K_1} = \frac{Cu - 0,36}{1,0634 - 1} = \frac{Cu - 0,36}{0,0634}$$

Igualando ecuaciones.

$$C_u - 0,36 = 0,12 \times 0,0634$$

$$C_u = (0,12 \times 0,0634) + 0,36 = 0,3676$$

Como este valor es un porcentaje, en realidad, estamos hablando de:  $C_u = 0,3676$

- **Cálculo factor de mantenimiento**

Consiste en el nivel de mantenimiento que se tiene en las luminarias estos valores vienen dados en la Tabla 5.21.

- **Cálculo Flujo luminoso que se necesita**

**Datos:**

$\phi_T$  = Flujo total que necesita en el laboratorio

$E = 300$  lux requeridos por la norma

$S = 46,42\text{m}^2$

$C_u = 0,3676$

$C_m = 0,8$

$$\phi_T = \frac{E \times S}{C_u \times C_m}$$

$$\phi_T = \frac{300 \times 46,42 \text{ m}^2}{0,3676 \times 0,8} = 40805,2231 \text{ lumenes}$$

El flujo total que se necesita en el laboratorio es 40805,2231 lm

- **Número de luminarias para alcanzar el nivel adecuado**

**Datos:**

$\phi_{NL}$  = Número de luminarias

$\phi_T = 40805,2231$  lm

$\phi_L$  = Flujo luminoso de una lámpara LED = 1850 lm

$n$  = Número de luminarias que tiene una lámpara (4 unidades)

$$N = \frac{\phi_T}{n \times \phi_L}$$

$$N = \frac{40805,2231}{4 \times 1850} = 5,4046$$

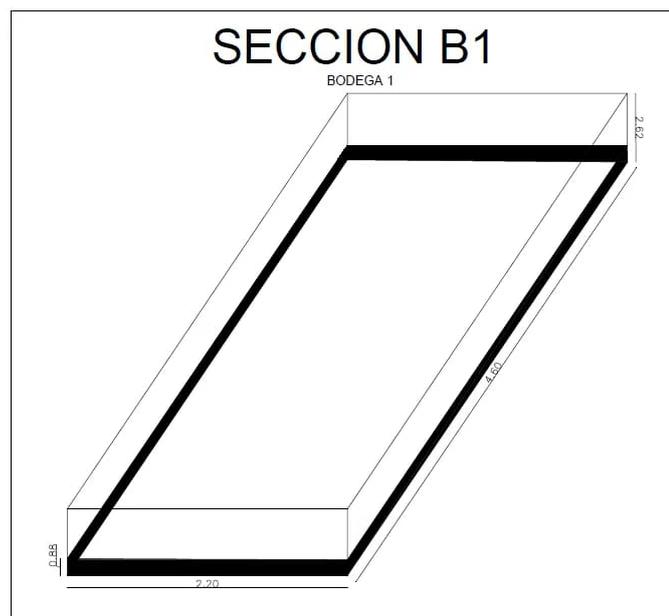
Se tendría que utilizar 5 lámparas para alcanzar el flujo luminoso estimado.

### 5.4.2.3. Estudio de iluminación en la sección B1

- Cálculo del índice del local (k)

**Tabla 5. 23. Sección B2**

Datos	Denominación (m)	
Ancho	a	4,60
Largo	b	2,20
Altura del laboratorio	h'	2,62
Plano de trabajo	d	0,88



**Figura 5. 14.** Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo.

Altura de montaje de luminarias sobre el plano de trabajo:  $2,62 - 0,88 = 1,74$

Método de cuadrícula o grilla:

$$K = \frac{2,20 \times 4,60}{1,74 \times (2,20 + 4,60)}$$

$$K = 0,8553$$

- Cálculo coeficiente de reflexión

Para determinar el coeficiente de reflexión se verificó el acabado de pisos, paredes y techos basándonos en la Tabla 5.19 tabulada.

- **Cálculo coeficiente de utilización**

Para calcular el coeficiente de utilización se utilizó la tabla tabulada internacionalmente del manual de luminotecnia Sylvania de la Tabla 5.20, tomando en cuenta el valor del índice local (k)=0,8553, los coeficientes de reflexión.

La lectura directa no es posible, así que se debe interpolar de acuerdo a la Figura 5.13:

$$m = \frac{Cu_2 - Cu_1}{K_1 - K_2} = \frac{0,36 - 0,32}{1 - 0,8} = 0,2$$

$$m = \frac{Cu - Cu_1}{K - K_1} = \frac{Cu - 0,32}{0,8553 - 0,8} = \frac{Cu - 0,32}{0,0553}$$

Igualando ecuaciones.

$$Cu - 0,32 = 0,2 \times 0,0553$$

$$Cu = (0,2 \times 0,0553) + 0,32 = 0,3311$$

Como este valor es un porcentaje, en realidad, estamos hablando de:  $Cu = 0,3311$

- **Cálculo factor de mantenimiento**

Consiste en el nivel de mantenimiento que se tiene en las luminarias estos valores vienen dados en la Tabla 5.21.

- **Cálculo Flujo luminoso que se necesita**

**Datos:**

$\Phi T$  = Flujo total que necesita en el laboratorio

$E = 200$  lux requeridos por la norma

$S = 10,12m^2$

$C_u = 0,3311$

$C_m = 0,8$

$$\Phi T = \frac{E \times S}{C_u \times C_m}$$

$$\Phi T = \frac{200 \times 10,12 m^2}{0,3311 \times 0,8} = 7641,1960 \text{ lumenes}$$

El flujo total que se necesita en el laboratorio es 7641,1960 lm.

- **Número de luminarias para alcanzar el nivel adecuado**

**Datos:**

$\Phi NL$  = Número de luminarias

$\Phi T = 7641,1960$  lm

$\Phi L$  = Flujo luminoso de una lámpara LED= 1850 lm

$n$  = Número de luminarias que tiene una lámpara (4 unidades)

$$N = \frac{\phi T}{n \times \phi L}$$

$$N = \frac{7641,1960}{3 \times 1850} = 1,3767$$

Se tendría que utilizar 1 lámparas para alcanzar el flujo luminoso estimado.

#### 5.4.2.4. Estudio de iluminación en la sección B2

- Cálculo del índice del local (k)

Tabla 5. 24. Sección B2

Datos	Denominación (m)	
Ancho	a	4,35
Largo	b	3,25
Altura del laboratorio	h'	2,62
Plano de trabajo	d	0,88

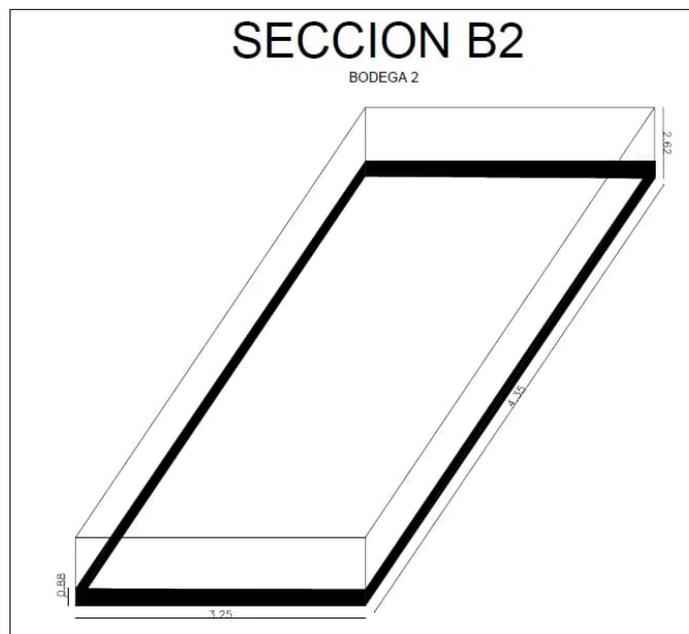


Figura 5. 15. Dimensiones del aula y altura del plano de trabajo.

Altura de montaje de luminarias sobre el plano de trabajo:  $2,92 - 0,88 = 1,74$

Método de cuadrícula o grilla:

$$K = \frac{3,25 \times 4,35}{1,74 \times (3,25 + 4,35)}$$

$$K = 1,0691$$

- **Cálculo coeficiente de reflexión**

Para determinar el coeficiente de reflexión se verificó el acabado de pisos, paredes y techos basándonos en la Tabla 5.19 tabulada.

- **Cálculo coeficiente de utilización**

Para calcular el coeficiente de utilización se utilizó la tabla tabulada internacionalmente del manual de luminotecnia Sylvania de la Tabla 5.20, tomando en cuenta el valor del índice local (k)=0,6402, los coeficientes de reflexión.

La lectura directa no es posible, así que se debe interpolar de acuerdo a la Figura 5.13:

$$m = \frac{Cu_2 - Cu_1}{K_1 - K_2} = \frac{0,39 - 0,36}{1,25 - 1} = 0,12$$

$$m = \frac{Cu - Cu_1}{K - K_1} = \frac{Cu - 0,36}{1,0691 - 1} = \frac{Cu - 0,36}{0,0691}$$

Igualando ecuaciones.

$$Cu - 0,36 = 0,12 \times 0,0691$$

$$Cu = (0,12 \times 0,0691) + 0,36 = 0,3669$$

Como este valor es un porcentaje, en realidad, estamos hablando de:  $Cu = 0,3669$

- **Cálculo factor de mantenimiento**

Consiste en el nivel de mantenimiento que se tiene en las luminarias estos valores vienen dados en la Tabla 5.21.

- **Cálculo Flujo luminoso que se necesita**

**Datos:**

$\Phi T$  = Flujo total que necesita en el laboratorio

$E = 200$  lux requeridos por la norma

$S = 14,74m^2$

$C_u = 0,3669$

$C_m = 0,8$

$$\Phi T = \frac{E \times S}{C_u \times C_m}$$

$$\Phi T = \frac{200 \times 14,74 m^2}{0,3669 \times 0,8} = 10043,6086 \text{ lumenes}$$

El flujo total que se necesita en el laboratorio es 10043,6086 lm.

- **Número de luminarias para alcanzar el nivel adecuado**

**Datos:**

$\Phi_{NL}$  = Número de luminarias

$\Phi_T$  = 10043,6086 lm

$\Phi_L$  = Flujo luminoso de una lámpara LED= 1850 lm

$n$  = Número de luminarias que tiene una lámpara (4 unidades)

$$N = \frac{\Phi_T}{n \times \Phi_L}$$

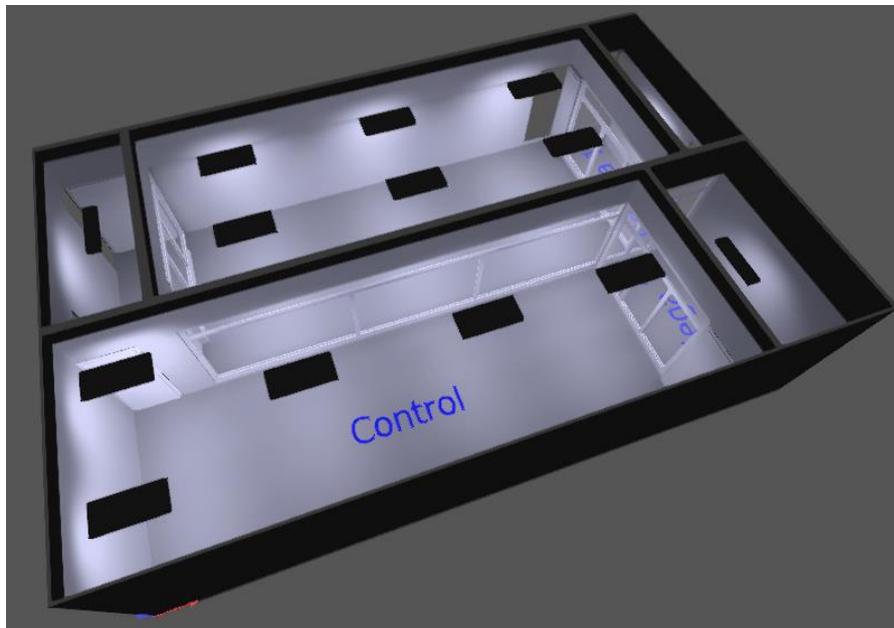
$$N = \frac{10043,6086}{3 \times 1850} = 1,8097$$

Se tendría que utilizar 2 lámparas para alcanzar el flujo luminoso estimado.

### 5.4.3. Diseño del sistema de iluminación con luminarias LED mediante el software

#### Dialux evo

Esta etapa consiste en simular los laboratorios de control y maquinas utilizando tecnología LED para cumplir con los estándares de calidad antes mencionados, y así tener un sistema que cumpla con todos los factores que se encuentre dentro de los parámetros establecidos por la normativa UNE 12464 y RETIE, en la Figura 5.16 se puede evidenciar el modelo de los laboratorios.

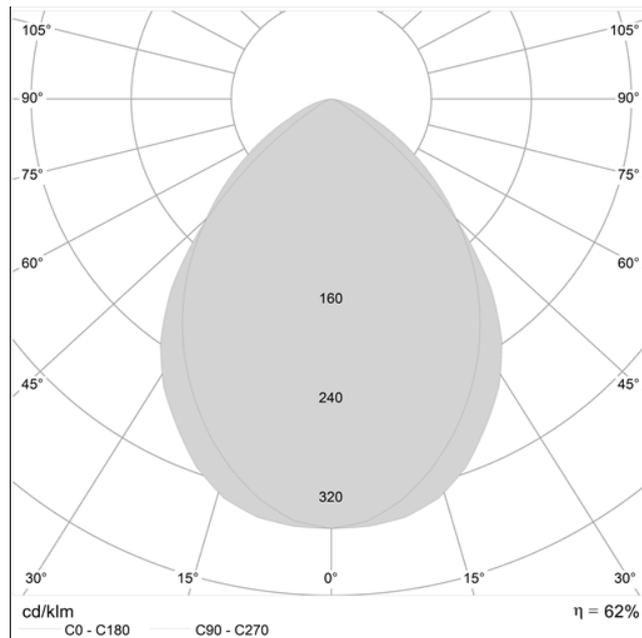


**Figura 5. 16.** Laboratorios de control y maquinas con tecnología LED.

### 5.4.3.1. Distribución lumínica

En la Figura 5.18 se tiene la curva fotométrica la cual se obtuvo del catálogo SYLVANIA, aquí se puede apreciar la cantidad de iluminación en el plano de trabajo esto se realizó de acuerdo a la normativa UNE 12464 y RETIE donde da a conocer la cantidad de lúmenes que deben cumplir los laboratorios y para ello se utilizó lámparas de 18 W con un flujo luminoso de 1850 lm.

En la Tabla 5.17 se tiene las especificaciones técnicas que tienen las luminarias LED utilizadas en el software.



**Figura 5. 17.** Curva fotométrica de luminarias LED.

**Tabla 5. 25.** Especificaciones técnicas

Descripción	SYCLEAN 600x600 418 HR A2
Nº Referencia	9058928
Montaje	Empotrado
Color	Blanco
LOR (%)	62%
Valor IP	65
Valor IK	-
Lugar de utilización	Lámpara interior
Distribución	directo
Potencia	18 w
Flujo luminoso	1850 lm
Tensión	110 - 240 V
Temperatura	4000 K

Su diseño se basa en factores como: niveles de iluminación, índice de uniformidad, esto es con el fin de cumplir con los requerimientos de la normativa y tener niveles de calidad para un mejoramiento visual de los estudiantes y docentes, es por ello que de acuerdo al diseño realizado en la Tabla 5.26 se tiene los valores de iluminación media, mínima, máxima, mínimo-medio y mínimo-máximo para cada sección del laboratorio de control y máquinas.

**Tabla 5. 26.** Resultados obtenidos mediante el software Dialux.

SECCIÓN		LUMENES (lx)
A1	Medio	375 lx
	Mínimo	115 lx
	Máximo	657 lx
	Mínimo-medio	0,31
	Mínimo-máximo	0,18
A2	Medio	453 lx
	Mínimo	178 lx
	Máximo	693 lx
	Mínimo-medio	0,39
	Mínimo-máximo	0,26
B1	Medio	241 lx
	Mínimo	64 lx
	Máximo	469 lx
	Mínimo-medio	0,27
	Mínimo-máximo	0,14
B2	Medio	200 lx
	Mínimo	53 lx
	Máximo	410 lx
	Mínimo-medio	0,27
	Mínimo-máximo	0,13

#### **5.4.4. Análisis de los resultados obtenidos utilizando el software Dialux Evo de acuerdo al cálculo realizado del número de luminarias que se necesita para alcanzar un nivel adecuado de lúmenes**

Una vez realizado el cálculo del número de luminarias y hecho el diseño en el software los resultados obtenidos para todas las secciones se describen en la Tabla 5.27, donde indica que los niveles de iluminación para estas secciones cumplen con los rangos descritos en la normativa correspondiente esto se debe principalmente al aumento y cambio de luminarias LED, para así tener una buena calidad y visibilidad de la iluminación al momento de realizar las respectivas prácticas en los laboratorios (véase Figura 5.18).

**Tabla 5. 27.** Resultados obtenidos mediante el cálculo realizado por el software Dialux Evo.

Sección	Descripción	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumplimiento UNE 12464 y RETIE
A1	Área de maquinas	375	300-500	SI
A2	Área de control y automatización	453	300-500	SI
B1	Bodega 1	241	200	SI
B2	Bodega 2	200	200	SI



**Figura 5. 18.** Estado actual de los niveles de iluminación en el laboratorio de máquinas y control.

### 5.5. VIABILIDAD DE LA HIPÓTESIS

Una vez realizado el cálculo del número de luminarias y utilizando el Dialux Evo según el diseño del sistema de iluminación LED suministrada por energía fotovoltaica en el laboratorio de control y máquinas de acuerdo al software se calculó nuevas mediciones para cumplir con los criterios de aceptación de las normas UNE 12464 y RETIE donde se puede ver que existe una mejora en el nivel de iluminancia y el consumo de energía el cual será eficiente y ayuda a mejorar la seguridad al trabajar en los laboratorios, como se muestra en la Tabla 5.28.

**Tabla 5. 28.** Niveles anteriores de iluminación luminarias fluorescentes y niveles actuales de iluminación según el diseño luminarias LED

Descripción	Criterio de aceptación (lx)	Niveles anteriores de iluminación (lx)	Niveles de iluminación actuales según el diseño (lx)
Bodega 1	200	142,88	241
Bodega 2	200	44,89	200
Lab. Control	300 - 500	143,25	453
Lab. Maquinas	300 - 500	147,74	375

## 5.6. CÁLCULO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED DE LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS

El proyecto está situado en el techo de las instalaciones del teatro universitario, ocupando un área de 7,178 m<sup>2</sup> para la ubicación de los equipos del sistema fotovoltaico.

### 5.6.1. Dimensionamiento para energizar el sistema de iluminación mediante energía fotovoltaica.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo permite cubrir la totalidad de la demanda del sistema de iluminación LED sin depender de la red eléctrica.

#### 5.6.1.1. Estimación de la energía eléctrica diaria

Esto consiste en cuantificar la potencia que demanda tanto el sistema de iluminación LED así como cada una de las áreas y para ello se necesita el número de horas que se va a dar uso los laboratorios, es por ello que en la Tabla 5.29 se realiza cuantas horas se va a utilizar de lunes a viernes y se conoce el total de horas.

**Tabla 5. 29.** Uso diario de los laboratorios

DIAS	USO DIARIO (h)
Lunes	8
Martes	9
Miércoles	8
Jueves	9
Viernes	6
	<b>8 horas</b>

En la Tabla 5.30 se presenta el inventario de consumos eléctricos que permitirá obtener el valor de la energía diaria necesaria en el sistema de iluminación.

**Tabla 5. 30.** Inventario de consumos eléctricos

Descripción	Potencia (W)	Número de unidades	Uso diario (h)	Potencia total (W)	Energía diaria (Wh)
Iluminación de control	18	18	8	324	2592
Iluminación de máquinas	18	28		504	4032
Iluminación bodega 1	18	7		126	1008
Iluminación bodega 2	18	3		54	432
<b>Total</b>				1008	8064
					<b>8,064 kWh</b>

Con los datos de la Tabla 5.30 se determinó el valor de la energía diaria requerida en el sistema donde su valor es de:  $W_d = 8064 \text{ Wh/día}$

### 5.6.1.2. Elección del tipo de sistema

Debido a que la iluminación LED va a requerir de energía eléctrica en horas de baja insolación y duración por la noche, el sistema necesita acumulación y los consumos se realizan en C.A. a 220V. El voltaje nominal del sistema se establece en función de la potencia total que se muestra en los rangos de la Tabla 5.31.

**Tabla 5. 31.** Voltaje nominal del sistema de acumulación en función de la potencia

Potencia total (W)	Voltaje nominal (V)
500	12
500 < 2500	24
2500 < 5000	48

Por lo tanto la tensión nominal ( $U_n$ ) del banco de baterías es de 24V debido a que la potencia total que suministra es de 1008W (véase Tabla 5.31), ya que se encuentra en el rango de  $500 < 2500W$ .

### 5.6.1.3. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

#### a) Periodo de diseño

Para determinar el cálculo de los paneles solares, el periodo de diseño se estableció para el mes de menor irradiación solar, debido a que el consumo va hacer anual y constante dentro de un lapso de tiempo de 8 horas esto es de acuerdo al uso diario de los laboratorios.

En la Tabla 5.32 se determinó que el mes de peor irradiación es Junio de acuerdo a la ubicación del proyecto por lo tanto se escogió este mes para determinar el cálculo correspondiente donde estos datos fueron tomados de la NASA (Data Methodology).

**Tabla 5. 32.** Insolación global en la ubicación de los laboratorios

Mes	KWh/(m <sup>2</sup> *día)
Enero	8,019
Febrero	7,801
Marzo	7,919
Abril	8,026
Mayo	7,891
Junio	7,784
Julio	7,819
Agosto	7,947
Septiembre	8,116
Octubre	7,933
Noviembre	7,818
Diciembre	7,954
	7,9189

**b) Orientación e inclinación y cálculo de la irradiación global diaria sobre la superficie del generador**

La latitud de la Universidad Técnica de Cotopaxi ubicada en Latacunga es de  $\phi = -0,917342$  Sur, y la insolación global diaria por mes sobre una superficie horizontal es de  $G_{dm}(0) = 7,784 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{día})$  para el mes de Junio.

En el caso de la inclinación óptima se utiliza la ecuación (3.9) del apartado 3.13.1., para el mes de Junio donde garantiza la menor captación de radiación solar.

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|-0,917342|$$

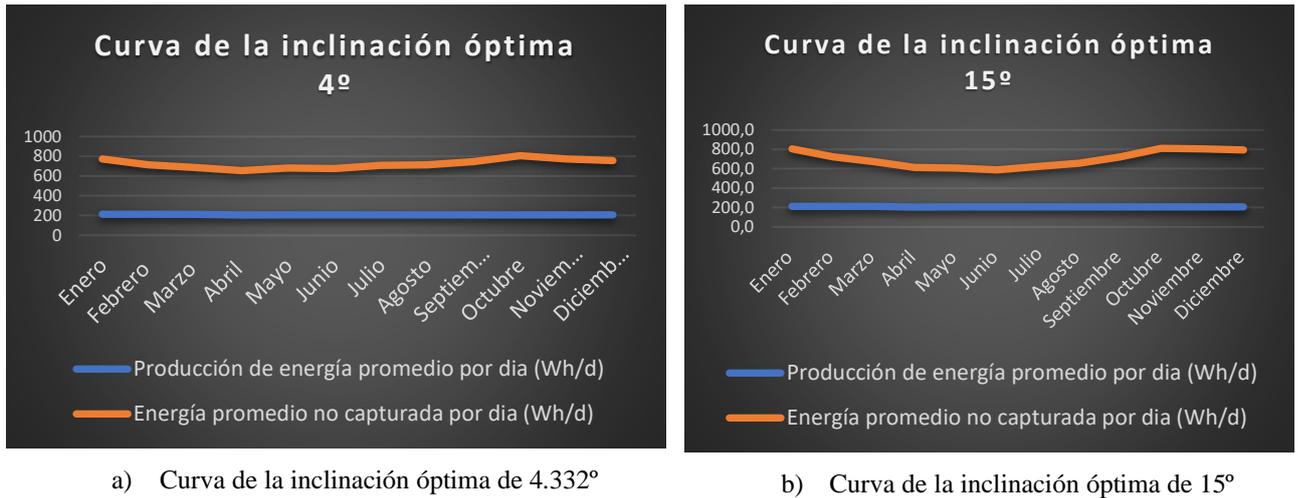
$$\beta_{opt} = 4,332^\circ \rightarrow 15^\circ$$

**Tabla 5. 33.** Datos de la producción de energía promedio de la inclinación de  $4,332^\circ$

Mes	Producción de energía promedio por día (Wh/d)	Energía promedio no capturada por día (Wh/d)
Enero	213,07	770,56
Febrero	213,07	715,73
Marzo	211,5	688,1
Abril	205,64	654,55
Mayo	206,16	683,39
Junio	206,07	677,06
Julio	209,34	706,11
Agosto	207,44	711,53
Septiembre	206,29	746,45
Octubre	206,23	805,58
Noviembre	205,97	774,98
Diciembre	206,32	755,89

**Tabla 5. 34.** Datos de la producción de energía promedio de la inclinación de  $15^\circ$

Mes	Producción de energía promedio por día (Wh/d)	Energía promedio no capturada por día (Wh/d)
Enero	213,0	805,31
Febrero	213,0	724,21
Marzo	211,37	671,37
Abril	205,61	614,66
Mayo	206,1	610,64
Junio	206,0	588,78
Julio	209,2	623,56
Agosto	207,3	656,56
Septiembre	206,2	721,01
Octubre	206,2	811,1
Noviembre	205,9	806,25
Diciembre	206,2	795,83



**Figura 5. 19.** Curvas de la inclinación óptima de acuerdo a la latitud y longitud de la Universidad Técnica de Cotopaxi [40].

Se puede observar que la Figura 5.19 (a) y la Figura 5.19 (b) se compara las curvas de inclinación tanto de los 4,332° como los 15° estas curvas son obtenidas de los datos de la Tabla 5.33 y la Tabla 5.34 que son simuladas en la aplicación PVGIS donde se puede observar que las dos curvas de acuerdo a su producción de energía promedio son similares debido a que nuestro país se encuentra en la línea ecuatorial que es 0° por lo tanto la inclinación ideal de los paneles debería ser 0°, pero en este caso la inclinación que se le dio a los paneles es de 15° debido a que se dio prioridad su mantenimiento por el difícil acceso al lugar para realizar la limpieza de ellos, además se puede ver que la producción de energía promedio fotovoltaica existe una variación mínima en sus valores anuales.

Se determinó que el ángulo óptimo es de 4.332°, pero por mantenimiento la inclinación de los paneles fotovoltaicos aumenta a 15°, para que la suciedad acumulada sobre la superficie sea retirada por la lluvia. A continuación, se calcula el factor de irradiación (FI) aplicando la ecuación (3.10)

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (15 - 4,332)^2]$$

$$FI = 0,9863$$

Una vez determinado los parámetros y constantes, aplicando la ecuación (3.11) se procede a calcular el valor medio mensual de irradiación global diaria sobre la superficie del sistema de paneles donde el factor de sombreado es 1 ya que no existe presencia de sombra.

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 7,784 \frac{kWh}{m^2} \times 1,7 \times 0,9863 \times 1$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 13,0515 \text{ Wh/m}^2$$

Por lo tanto la orientación de los paneles están situados al norte geográfico dado que la instalación donde están ubicados los paneles fotovoltaicos se encuentran en el hemisferio sur con un ángulo azimut ( $\alpha$ ) de  $22^\circ$ , además se tomó en cuenta la trayectoria del sol para todo el año, como se puede apreciar en la Figura 5.20 y 5.21.

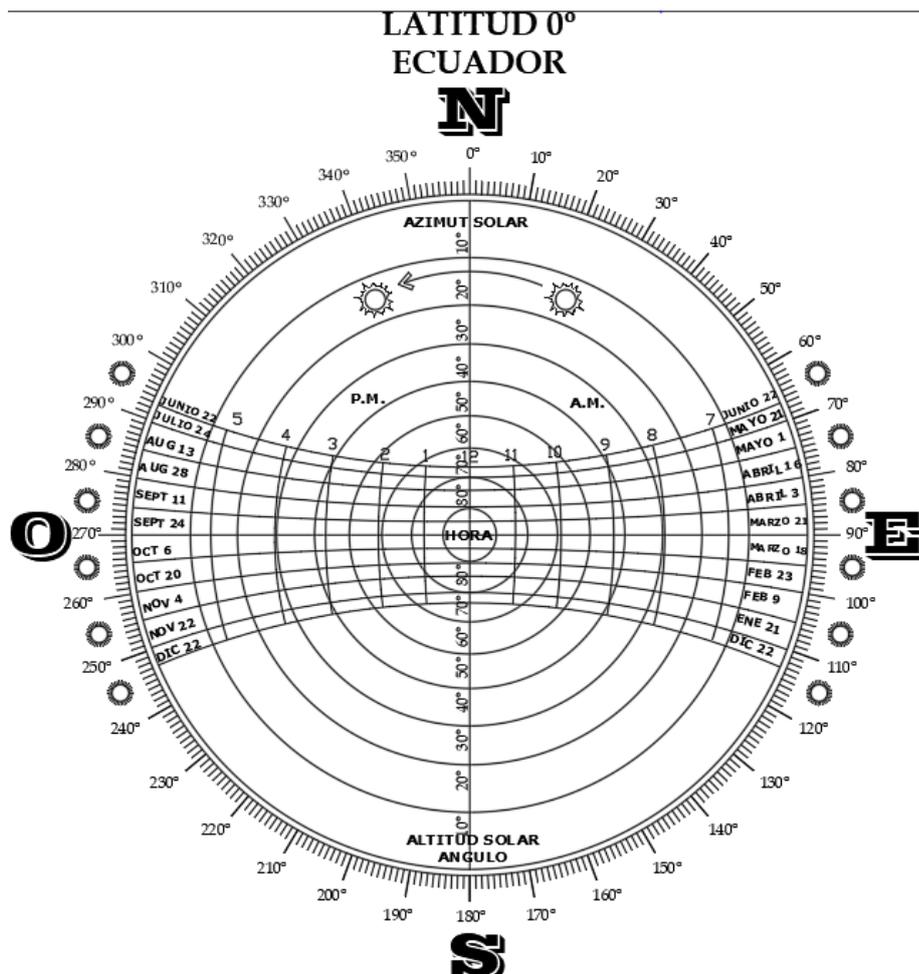
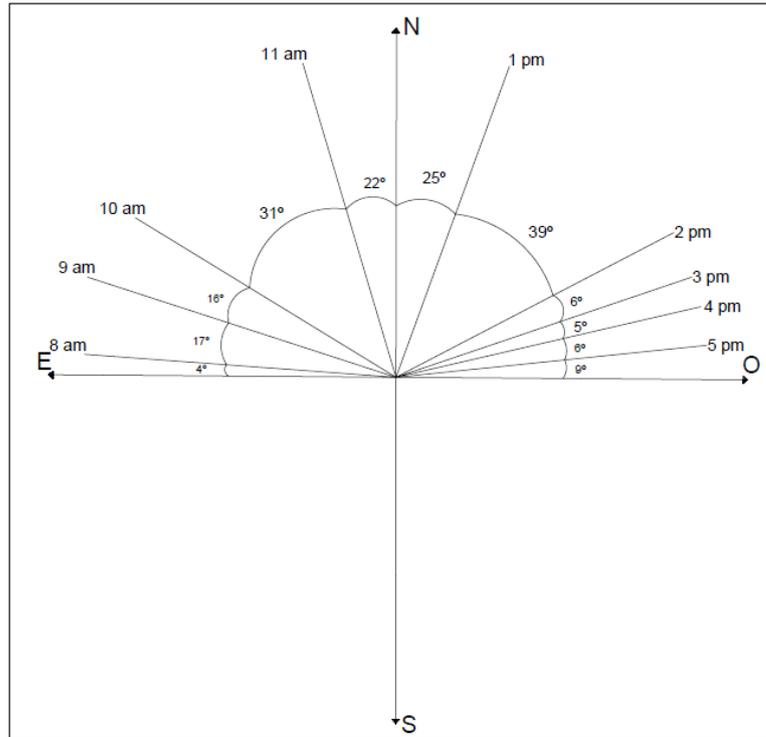
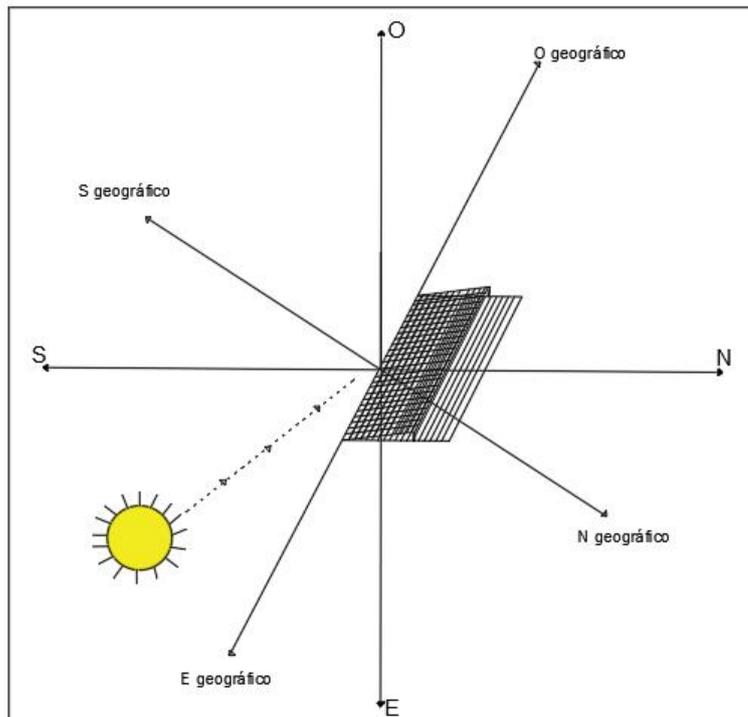


Figura 5. 20. Trayecto solar sobre el Diagrama solar.



**Figura 5. 21.** Norte geográfico del teatro universitario.

La Figura 5.23 se puede visualizar la dirección de los paneles fotovoltaicos.



**Figura 5. 22.** Panel fotovoltaico orientado hacia el norte geográfico.

**c) Cálculo de los parámetros eléctricos del generador**

Al ser un sistema fotovoltaico autónomo y al suministrar la energía eléctrica en corriente alterna, es necesario contar con un inversor híbrido off Grid y banco de baterías, es por eso que el coeficiente que estima el rendimiento energético de la instalación (PR) es del 0,6 aplicando la ecuación (3.12) del apartado 3.13.2 se procede a calcular la potencia mínima del generador fotovoltaico.

$$P_{Gmin} = \frac{8064Wh \times \frac{1000W}{m^2}}{\frac{13,0515Wh}{m^2} \times 0,6}$$

$$P_{Gmin} = 1029,766 W$$

Con la finalidad de no sobredimensionar el generador se debe verificar que la potencia máxima del panel seleccionado no exceda el 20% del valor calculado para la potencia mínima del generador solar.

$$P_{Gmin} \leq P_G \leq 1,2 \times P_{Gmin}$$

$$1029,766 W \leq P_G \leq 1,2 \times 1029,766 W = 1235,7192 W$$

En la Tabla 5.35 se tiene las características del panel solar seleccionado para el presente diseño, cuya elección se hizo considerando que el sistema de acumulación tiene un voltaje nominal de 24 V.

**Tabla 5. 35.** Características del panel solar

Descripción	Valor
Potencia máxima (Pmax)	270 W
Voltaje nominal del módulo	1500 V
Eficiencia del módulo	16,50%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Impp)	8,59 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Umpp)	31,44 V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	9,03 A
Tensión de Circuito Abierto (Uoc)	38,45 V
Coefficiente de Temperatura de Uoc (β)	-0,30 %/°C
Células	60
Tipo de célula	Policristalino 1640 x 992 x 35 mm

Con los datos de los paneles se procede a calcular el número de módulos que se requieren para lograr la potencia mínima prevista esto se realiza aplicando la ecuación (3.13) de apartado 3.13.2:

$$N_p \times N_s \geq \frac{1029,766W}{270 W} = 3.8139 \approx 4 \text{ Módulos}$$

El sistema fotovoltaico mixto está conformado por dos subarreglos en serie ( $N_s = 4$ ), y un subarreglo conectado en paralelo ( $N_p = 1$ ) formado de 4 módulos solares en el sistema que se conectarán a su respectivo inversor. Con estos factores se procede a calcular los parámetros eléctricos del generador que son:

- Potencia total del generador aplicando la ecuación (3.14) del apartado 3.13.2:

$$N_p \times P_{max} \times N_s = 4 \times 270W \times 1 = 1080 W$$

- Se puede comprobar que el generador no se encuentra sobredimensionado:

$$1029,766 W < 1080 W < 1235,7192 W \rightarrow \text{Correctamente dimensionado}$$

Los cálculos que se muestra a continuación se realizan considerando un solo sistema de 4 paneles solares.

- Se calcula la tensión de circuito abierto del generador aplicando la ecuación (3.15).

$$U_{Goc} = 2 \times 38,45 V = 76,90 V$$

- Intensidad de cortocircuito del generador aplicando la ecuación (3.16).

$$I_{Gsc} = 2 \times 9,03 A = 18,06 A$$

- Tensión máxima del generador aplicando la ecuación (3.17).

$$U_{Gmpp} = 2 \times 31,44 V = 62,88 V$$

- Intensidad máxima del generador aplicando la ecuación (3.18).

$$I_{Gmpp} = 2 \times 8,59 A = 17,18 A$$

**5.6.1.4. Dimensionamiento del banco de baterías**

En la Tabla 5.36 se puede observar las características para el cálculo de las baterías, estos datos están en cuanto a días de autonomía, rendimiento del inversor, rendimiento de baterías y la profundidad de descarga.

**Tabla 5 36.** Características para el cálculo de baterías

Descripción	Variable	Valor
Días de autonomía	A	1
Rendimiento del inversor	$\eta_{inv}$	98%
Rendimiento del conjunto de baterías	$\eta_{rb}$	80%
Profundidad de descarga	$PD_{max}$	91%

- Se procede a calcular el consumo medio diario en Ah aplicando la ecuación (3.19) del apartado 3.13.3:

$$Q_d = \frac{8064 \text{ Wh}}{24 \text{ V}} = 336 \frac{\text{Ah}}{\text{dia}}$$

- Luego se calcula la capacidad nominal del sistema de acumulación aplicando la ecuación (3.20) del apartado 3.13.3:

$$C_n = \frac{336 \text{ Ah/dia} \times 1 \text{ dia}}{0,80 \times 0,98 \times 0,91} = 470,9576 \text{ Ah}$$

- El sistema de acumulación está conformado por elementos de 12 V conectados en serie esto es con el fin de llegar a tener una tensión nominal de 24 V, es por eso que el número de elementos conectados en serie aplicando la ecuación (3.21) son:

$$N_{bs} = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 2 \text{ Baterías en serie}$$

- La capacidad nominal en Ah que debe ofrecer el banco de baterías es elevada, por lo tanto es necesario instalar elementos de 100 Ah en paralelo y el número de elementos acumuladores a conectar en paralelo aplicando la ecuación (3.18) son:

$$N_{bp} = \frac{470,9576 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}} = 4,7095 \approx 5 = \text{Baterías en paralelo}$$

Entonces el banco de baterías estará conformado por 10 acumuladores ( $N_{bs} \times N_{bp}$ ) de 100Ah/12V como se puede apreciar en la Tabla 5.37 estas baterías son de tipo plomo-ácido por qué son más económicos en términos de mantenimiento y su auto descarga por mes es menor al 5%.

**Tabla 5. 37.** Características de la batería

Descripción	Valor
Voltaje (V)	12
Amperios-Hora	100
Peso (kg)	33,5 kg
Corriente de carga inicial (A)	30
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	32,9 x 17,2 x 21,4 cm

#### 5.6.1.5. Dimensionamiento del inversor

La tensión nominal del inversor híbrido off Grid será igual a la definida para el sistema de acumulación, que es  $U_n = 24 \text{ V}$ .

La potencia nominal del sistema de iluminación expresada como aparente es de  $S_n = 1260 \text{ VA}$ , esta potencia se obtiene del inventario de consumos eléctricos (véase Tabla 5.38).

Con estos datos se selecciona un inversor de 3kVA/24V que dispone de una eficiencia del 98%, las características del inversor híbrido off Grid se tiene en la Tabla 5.38.

**Tabla 5. 38.** Especificaciones técnicas inversor

Descripción	Valor
Rango de tensión de entrada (V DC)	20 - 145 V
Salida	110-120V 50/60 Hz
Potencia cont. de salida 25°C (VA)	3000
Potencia cont. de salida 25°C (W)	1500
Eficacia máx.	93%
Relé programable	si

#### 5.6.1.6. Equipos seleccionados dentro del diseño

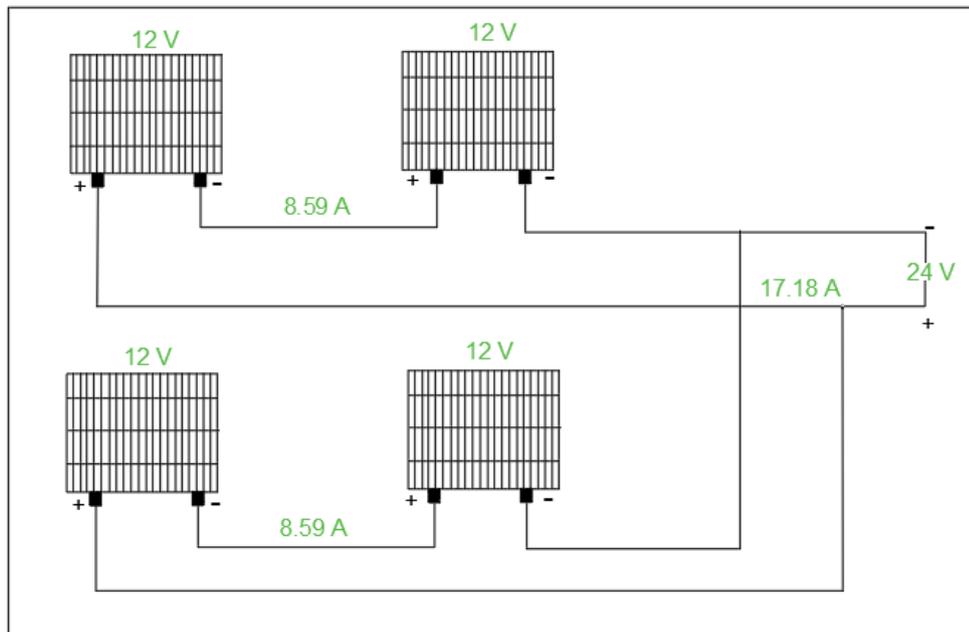
En la Tabla 5.39 se presenta un resumen de los equipos seleccionados dentro del diseño para su respectiva implementación del sistema fotovoltaico.

**Tabla 5. 39.** Características de los equipos seleccionados para el proyecto

Equipos principales			
Tipo de Equipo	Capacidad	Ítem	Cantidad
Panel fotovoltaico	270	W	4
Batería	100	Ah	10
Inversor	3000	VA	1

**5.6.1.7. Esquema de conexión de los paneles solares**

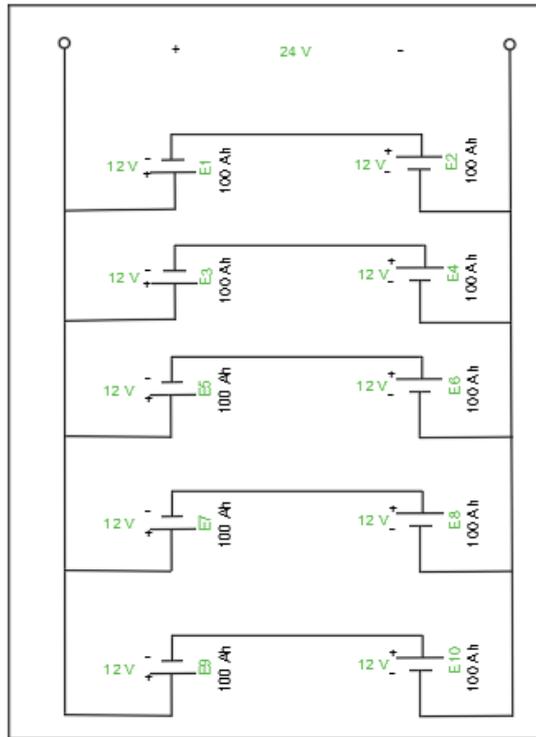
Los módulos solares se encuentran conectados en una configuración mixta (serie – paralelo) como se puede apreciar en la Figura 5.23.



**Figura 5. 23.** Conexión serie-paralelo de los paneles solares.

**5.6.1.8. Esquema de conexión del sistema de acumulación**

Las baterías de descarga profunda se encuentran conectadas en una configuración mixta (serie-paralelo) como se puede observar en la Figura 5.24.

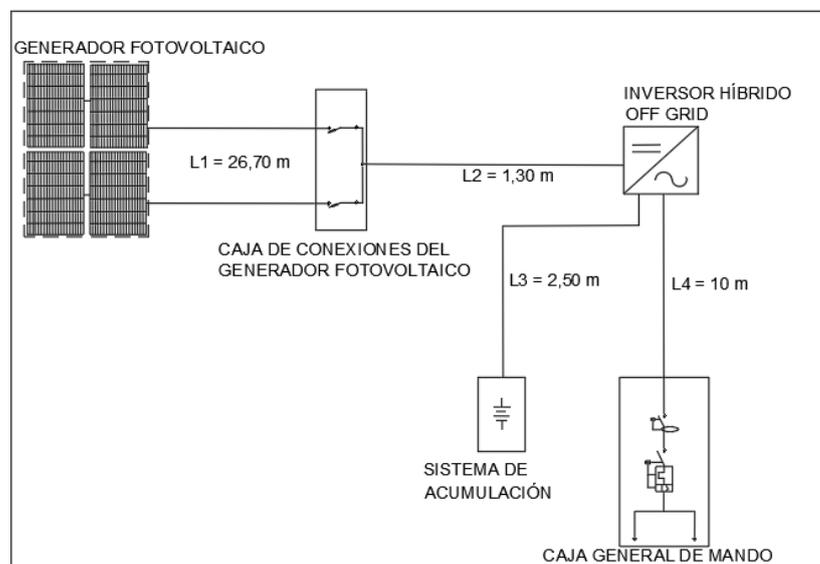


**Figura 5. 24.** Conexión serie-paralelo del sistema de acumulación.

### 5.6.1.9. Calculo de los conductores y caídas de tensión del sistema fotovoltaico

1) Recopilación de datos

a) Corrientes y longitudes de los diferentes tramos que componen el sistema fotovoltaico (las longitudes se han determinado en base a los planos realizados), en la Figura 5.25 se presenta un esquema unifilar del sistema fotovoltaico donde indica las distancias.



**Figura 5. 25.** Esquema unifilar con las longitudes por tramo

- Tramo 1, conexión de los módulos a la caja de conexiones del generador fotovoltaico. Se debe considerar primeramente la intensidad de cortocircuito del generador ( $I_{Gsc} = 18,06 \text{ A}$ ) e igualmente un coeficiente de 1,25 con el procedimiento descrito en el apartado 3.13.4.1 obteniendo lo siguiente:

$$I_1 = 1,25 \times I_{sc} = 1,25 \times 18,06 \text{ A} = 22,575 \text{ A}$$

Longitud del tramo 1:  $L1 = 26,70 \text{ m}$

- Tramo 2, conexión de la caja del generador al inversor. Para este apartado se debe considerar la intensidad de cortocircuito del generador ( $I_{Gsc} = 18,06 \text{ A}$ ) y un coeficiente de 1,25 con el procedimiento descrito en el apartado 3.13.4.1 obteniendo lo siguiente:

$$I_2 = 1,25 \times I_{Gsc} = 1,25 \times 18,06 \text{ A} = 22,575 \text{ A}$$

Longitud del tramo 2:  $L2 = 1,30 \text{ m}$

- Tramo 3, conexión del inversor al sistema de acumulación. Se tiene que considerar la potencia del sistema de iluminación y el voltaje de las baterías.

Longitud del tramo 3:  $L3 = 2,50 \text{ m}$

- Tramo 4, conexión del inversor a la caja general de mando y protección de la instalación, que representa un circuito en corriente alterna. Se considera la intensidad de salida del inversor ( $I_{invca}$ ), su potencia nominal ( $S_{ncarga} = 1260 \text{ VA}$ ) y la tensión nominal del sistema de utilización ( $U_{nca} = 120 \text{ Vac}$ ), conjuntamente con el coeficiente de 1,25 aplicado a la  $I_{invca}$ .

$$I_{invca} = \frac{P_{ncarga}}{U_{nca}} = \frac{1260 \text{ VA}}{120 \text{ V}} = 10,5 \text{ A}$$

$$I_4 = 1,25 \times I_{invca} = 1,25 \times 10,5 \text{ A} = 13,125 \text{ A}$$

Longitud del tramo 4:  $L4 = 10 \text{ m}$

**b) Máxima caída de tensión permitida**

Entonces la máxima caída de tensión permitida es 3% la cual se distribuye en los distintos tramos 1,2 y 3. Esto se ha designado en base al porcentaje de caída de tensión de los tramos de mayor corriente, proporcionalmente a su longitud.

- Longitud total de los tramos (1, 2 y 3)

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 = (26,70 + 1,30 + 2,50)m = 30,50 \text{ m}$$

- Caída de tensión por unidad de longitud:

$$\Delta U_u = \frac{\Delta U\%}{L_T} = \frac{3\%}{30,50 \text{ m}} = 0,098 \text{ \% / m}$$

- Reparto de caídas de tensión proporcionales a la longitud de cada tramo:

Tramo 1:

$$\Delta U_{\%1} = \Delta U_u \times L_1 = 0,098 \frac{\%}{m} \times 26,70 \text{ m} = 2,6262 \%$$

Tramo 2:

$$\Delta U_{\%2} = \Delta U_u \times L_2 = 0,098 \frac{\%}{m} \times 1,30 \text{ m} = 0,1274 \%$$

Tramo 3:

$$\Delta U_{\%3} = \Delta U_u \times L_3 = 0,098 \frac{\%}{m} \times 2,50 \text{ m} = 0,245 \%$$

- Se comprueba si la caída de tensión de los tramos se encuentra dentro de los límites previamente establecidos del 3%.

$$\Delta U_{\%} = \Delta U_{\%1} + \Delta U_{\%2} + \Delta U_{\%3}$$

$$\Delta U_{\%} = 2,6262 \% + 0,1274 \% + 0,245 \% = 3 \%$$

## 2) Cálculo para la sección del conductor

Para el cálculo de la sección del conductor la función de la caída de tensión que se determinó con anterioridad. El factor de potencia para el tramo 4 en corriente alterna se ignora de la ecuación, ya que se supone que es un valor de 1, y para los tramos de corriente continua no se considera este término, la conductividad del cable se toma a la temperatura de servicio

correspondiente a 90°C, por lo que su valor  $\gamma_{90} = 45 \text{ sxm/mm}^2$  esto se realiza aplicando la ecuación (3.23).

Tramo 1:

$$S_1 = \frac{2 \times 26,70\text{m} \times 22,575 \text{ A}}{2,6262\% \times 45 \text{ s x m/mm}^2} = 10,2006 \text{ mm}^2$$

Tramo 2:

$$S_2 = \frac{2 \times 1,30\text{m} \times 22,575\text{A}}{0,1274\% \times 45 \text{ s x m/mm}^2} = 10,2380 \text{ mm}^2$$

Tramo 3:

$$S_3 = \frac{2 \times 2,50\text{m} \times 1260 \text{ VA}}{0,245 \times 27 \text{ V x 45 s x m/mm}^2} = 21,1640 \text{ mm}^2$$

Tramo 4:

$$S_3 = \frac{2 \times 10 \text{ m} \times 13,125 \text{ A}}{3 \times 45 \text{ s x m/mm}^2} = 1,9444 \text{ mm}^2$$

### 3) Determinación de la sección comercial

Al obtener los resultados de la secciones por caída de tensión (véase Tabla 5.40), se comparan y se elige la de mayor valor para establecer la sección comercial.

**Tabla 5. 40.** Secciones de los conductores por caída de tensión

Tramos	Sección del Conductor (mm <sup>2</sup> )	Cable N°
1	10,2006	6 AWG
2	10,238	6 AWG
3	21,164	4 AWG
4	1,9444	14 AWG

#### 5.6.1.10. Aparatos de maniobra y protección para el sistema fotovoltaico

Es necesario tener protecciones dentro de cualquier diseño ya que la seguridad de las personas es siempre el principal factor, es por eso que se requiere de dispositivos de maniobra y protección pero considerando que los mismos deberán ser específicos para DC y AC.

- **Protección del generador**

Dado que hay una rama en paralelo, los módulos deben protegerse de la corriente inversa y la caja de conexiones del generador es fácil de mantener, así que elija instalar el fusible en el soporte del rifle que se puede desconectar.

Su dimensionamiento se lo hará para actuar entre 1,5 a 2 veces la corriente de cortocircuito del módulo ( $I_{sc}$ ) en condiciones estándares de medida y se debe comprobar que la tensión asignada al fusible soporte 1,2 veces la tensión de circuito abierto del generador ( $U_{Goc}$ ) igualmente en condiciones estándares.

A continuación se procede a calcular el calibre del fusible ( $I_F$ ) y la tensión asignada ( $U_F$ ):

$$I_F = 1,5 \times I_{sc} = 1,5 \times 9,03 \text{ A} = 13,545 \text{ A}$$

$$I_F = 2 \times I_{sc} = 2 \times 9,03 \text{ A} = 18,06 \text{ A}$$

$$U_F = 1,2 \times U_{Goc} = 1,2 \times 76,90 \text{ V} = 92,28 \text{ V}$$

Con estos factores se escoge un cartucho fusible de 15 A/ 1100 Vdc (PV) cilíndrico de 14 x 51 mm.

- **Interruptor general del sistema fotovoltaico**

Las ramas en paralelo del sistema fotovoltaico dispondrán de un interruptor general que permita la desconexión de toda la instalación.

Su dimensionamiento se realiza para que soporte la corriente de cortocircuito del generador ( $I_{Gsc}$ ) en condiciones estándares y la tensión de circuito abierto del generador ( $U_{Goc}$ ) en condiciones estándares de medida.

Se procede a determinar la intensidad nominal ( $I_n$ ) y la tensión nominal ( $U_n$ ) del interruptor general:

$$I_n \geq I_{Goc} = 18,06 \text{ A}$$

$$U_n \geq U_{Goc} = 76,90 \text{ V}$$

Por lo tanto se escoge un interruptor seccionador bipolar de 63 A/ 230 V.

- **Protección de la batería de acumuladores**

Debido a que el tramo de conexión Inversor – baterías se puede presentar corrientes sumamente elevadas de cortocircuito, se instala una base portafusible en el positivo con su respectivo cartucho fusible.

Su dimensionamiento se lo hará para actuar entre 1,5 a 2 veces la corriente de cortocircuito del módulo ( $I_{Gsc}$ ) en condiciones estándares de medida y se debe comprobar que la tensión asignada al dispositivo soporte 1,2 veces la tensión de circuito abierto del generador ( $U_{Goc}$ ) igualmente en condiciones estándares.

$$I_F = 1,5 \times I_{Gsc} = 1,5 \times 18,06 \text{ A} = 27,09 \text{ A}$$

$$I_F = 2 \times I_{Gsc} = 2 \times 18,06 \text{ A} = 36,12 \text{ A}$$

$$U_F = 1,2 \times U_{Goc} = 1,2 \times 76,90 \text{ V} = 92,28 \text{ V}$$

Con estos valores se escoge un cartucho fusible de 30 A/250 V.

- **Protección del inversor**

Para la protección del inversor se debe instalar interruptores magnetotérmicos y un interruptor diferencial esto es debido a que trabaja en corriente alterna. Dichos dispositivos cumplirán con las siguientes características.

$$I_n \geq I_{invca} = 25 \text{ A}$$

$$U_n = 120 \text{ V}$$

Se elige un interruptor automático bipolar de 30 A/ 240 V.

Un interruptor diferencial bipolar de 30 A/ 240 V, con una sensibilidad de 30mA.

- **Puesta a tierra de los paneles fotovoltaicos**

Tanto el cuadro metálico así como la estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos deberán estar aterrizados a tierra, para ello, se realiza una pequeña perforación situando en la misma un tornillo de igual diámetro, seguidamente, conectar el cable de sección mínima 16 mm<sup>2</sup> y asegurarlo por medio de una tuerca. El otro extremo del cable se conectara en las

borneras de la caja de conexiones del electrodo de puesta a tierra de la edificación. Para llevar a cabo este proceso es necesario disponer de los siguientes elementos:

- Cable de sección mínima 16 mm<sup>2</sup> de cobre para el sistema fotovoltaico.
- Cable de sección 8,37 mm<sup>2</sup> para la edificación.
- Conector GKP.
- Intensificador de tierra.

#### **5.6.1.11. Estructura de soporte**

La estructura de un sistema fotovoltaico es sumamente importante, pues se encarga de dotar al generador de la inclinación y orientación establecida en el dimensionamiento, con esto se puede identificar el sitio de la instalación y de esta manera se puede determinar qué tipo de estructura se puede usar, en este caso la presente implementación, dispone de un espacio considerable en la terraza del teatro universitario, cuya superficie es inclinada lo que representa que exista mayor radiación solar.

#### **5.6.1.12. Interruptores automáticos magnetotérmicos o breakers del circuito de utilización**

El número de interruptores existentes para el control del sistema de iluminación LED del laboratorio de control y máquinas de la Universidad Técnica de Cotopaxi será cuatro distribuyendo equitativamente las cargas por dispositivos.

El primer breaker controlara 35 luminarias de 18 W, el segundo breaker controlara 21 luminarias de 18 W respectivamente. Para su dimensionamiento dichos dispositivos deben cumplir con las siguientes características:

- **Breaker 1**

$$I_{CT} = \frac{P_{CT}}{U_{nca}} = \frac{35 \times 18 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 5,25 \text{ A}$$

$$I_n \geq I_{CT} = 5,25 \text{ A}$$

$$U_n = 120 \text{ V}$$

Se elige un breaker de 10 A/120 V

- **Breaker 2**

$$I_{CT} = \frac{P_{CT}}{U_{nca}} = \frac{21 \times 18 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 3,15 \text{ A}$$

$$I_n \geq I_{CT} = 3,15 \text{ A}$$

$$U_n = 120 \text{ V}$$

Se elige un breaker de 10 A/ 120 V

## **5.7. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

Luego de la formulación de este plan técnico, se consideraron los impactos técnicos, sociales, ambientales y económicos del diseño e implementación del sistema de iluminación LED para brindar una iluminación de alta calidad en los laboratorios de control y máquinas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, estos se describen a continuación.

### **5.7.1. Impacto Técnico**

En el diseño de la propuesta tecnológica, se realizó nuevamente la iluminación del laboratorio de control y maquinas mediante tecnología LED en el cual se llevó a cabo el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, y de esta manera mejorar el nivel de iluminación de la zona mediante un consumo energético razonable y eficiente.

### **5.7.2. Impacto Social**

El principal beneficio para docentes y estudiantes es proporciona mayor comodidad debido a la nueva configuración del sistema de iluminación LED.

### **5.7.3. Impacto Ambiental**

Dado que los equipos de iluminación están energizados a través de la generación fotovoltaica, mediante esto se reduce las emisiones de gases como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) sujetando el desarrollo de fuentes convencionales utilizadas para la obtención de electricidad y perjudiciales para el medio ambiente.

#### 5.7.4. Impacto Económico

La reducción del consumo de energía del sistema de iluminación reducirá los gastos de capital de la institución para pagar las facturas de electricidad y el mantenimiento preventivo.

Además, es necesario incentivar económicamente los proyectos basados en la generación de energía fotovoltaica aislada de la red, porque será rentable y se tendrá ganancias al final de su vida.

### 5.8. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA

#### 5.8.1. Rentabilidad del sistema fotovoltaico

Se utilizan dos herramientas muy útiles para analizar la rentabilidad de las inversiones, denominadas valor actual neto (VAN) y tasa interna de rendimiento (TIR). En primer lugar, debe conocer la inversión inicial, así como los ingresos y gastos de divisas, ya que el valor actual neto y la tasa interna de rendimiento se basan en esto y se calculan mediante el flujo de caja neto estimado del proyecto.

En la Tabla 5.41 se muestra la inversión inicial para implementar un sistema fotovoltaico aislado, en el cual se analiza la rentabilidad que implica suministrar energía eléctrica a través de la red de distribución o generación propia del sistema solar autónomo.

**Tabla 5. 41.** Inversión inicial del sistema fotovoltaico

Universidad Técnica de Cotopaxi				
Presupuesto de implementación de un sistema fotovoltaico				
Año 2021				
Expresado en dólares				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Panel FV	Pza.	4	\$ 130,00	\$ 520,00
Inversor ON/OFF GRID	Pza.	1	\$ 800,00	\$ 800,00
Baterías	Pza.	10	\$ 200,00	\$ 2.000,00
Estructuras	Pza.	2	\$ 50,00	\$ 100,00
Cable #4	m	5	\$ 0,85	\$ 4,25
Cable #6	m	40	\$ 1,00	\$ 40,00
Breaker Schneider Riel Dim 1 Polo 20Amp	Pza.	1	\$ 3,31	\$ 3,31
Breaker Schneider Riel Dim 1 Polo 20Amp	Pza.	1	\$ 3,31	\$ 3,31
Breaker Schneider Riel Dim 1 Polo 20Amp	Pza.	1	\$ 3,31	\$ 3,31
Breaker Schneider Riel Dim 2 Polo 20Amp	Pza.	1	\$ 9,62	\$ 9,62
Caja de protecciones	Pza.	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Subtotal				\$ 3.488,81
I.V.A. 12 %				\$ 418,66
Total				\$ 4.961,05

Ahora considere la vida útil de los equipos del sistema fotovoltaico el panel solar, el inversor son de 15 años y vida útil de la batería depende de varios factores en el año cero se tiene una inversión inicial de \$ 4.961,05.

En la Tabla 5.42 se realizó la estimación de los días en los cuales el sistema de acumulación va a funcionar.

**Tabla 5. 42.** Estimación de los días.

Días del año	Lunes-Viernes	Feriados	Total días
365	261	15	246

Para determinar la vida útil de las baterías se considera el ciclo de vida en relación con la profundidad de descarga y los días que el sistema de acumulación está en funcionamiento lo cual se puede observar en la Tabla 5.43, estos valores se determinó del Anexo C (Figura C.4).

**Tabla 5. 43.** Vida útil del sistema de acumulación.

% descarga	# ciclos	# días	vida útil (años)
91%	250	246	1,0163

Por otro lado, la iluminación LED mediante energía solar se basa en sistemas fotovoltaicos aislado de la red de suministro de energía, por lo tanto, la Universidad Técnica de Cotopaxi pagaría por el consumo de energía eléctrica, en este caso representará los ingresos de dinero para la institución, el valor anual de los ingresos monetarios se muestra en la Tabla 5.44. El precio KWh se toma del pliego tarifario para las empresas distribuidoras del año 2021.

**Tabla 5. 44.** Facturación anual de energía eléctrica.

Día de la semana	Horas de uso diario	No. Días	Total horas de uso al año	Carga Instalada (kW)	Demanda de energía (kWh)	Precio tarifa (\$/kWh)	Total
Lunes a Viernes	8	261	2088	1,008	2255,04	0,103	\$ 232,27

Se considera que la vida útil del proyecto es de 15 años, de acuerdo con los resultados mostrados anteriormente se obtiene la Tabla 5.45, que representa los ingresos anuales a favor de la institución.

**Tabla 5. 45.** Ingresos anuales.

Año	Pago por energía eléctrica	Año	Pago por energía eléctrica
1	\$ 232,27	14	\$ 232,27
2	\$ 232,27	15	\$ 232,27
3	\$ 232,27		
4	\$ 232,27		
5	\$ 232,27		
6	\$ 232,27		
7	\$ 232,27		
8	\$ 232,27		
9	\$ 232,27		
10	\$ 232,27		
11	\$ 232,27		
12	\$ 232,27		
13	\$ 232,27		

El costo de las operaciones de mantenimiento preventivo se considera la salida de fondos por la contratación de personal asignado a esta actividad. El valor de las horas diarias y días laborables se estima en la Tabla 5.46, y el total mencionado en la Tabla 5.47 es el pago de sueldos y sueldos.

**Tabla 5. 46.** Estimación del valor de la hora diaria y del día laboral

Sueldo básico	Jornada Laboral	Lunes a Viernes	Valor de la hora	Valor del día
\$ 400	8 horas diarias	20 días al mes	2,5	\$ 20

**Tabla 5. 47.** Hoja de tiempo para mantenimiento preventivo

Cargo	Lunes (horas)	Subtotal Salario	Total a Pagar
Técnico electricista	8	\$ 20	\$ 20

De esta forma, el gasto monetario de cada año durante la vida del proyecto se obtiene como se muestra en la Tabla 5.48.

**Tabla 5. 48.** Gasto monetario de cada año

Año	Operación de mantenimiento preventivo	Año	Operación de mantenimiento preventivo
1	\$ 20	14	\$ 20
2	\$ 20	15	\$ 20
3	\$ 20		
4	\$ 20		
5	\$ 20		
6	\$ 20		
7	\$ 20		
8	\$ 20		
9	\$ 20		
10	\$ 20		
11	\$ 20		
12	\$ 20		
13	\$ 20		

El flujo efectivo neto anual se obtiene como la diferencia entre ingresos y gastos del proyecto, en el año cero a la inversión inicial se le asigna un signo negativo para fines de cálculo, como se muestra en la Tabla 5.49.

**Tabla 5. 49.** Flujo efectivo neto anual

Año	valor	Año	valor
0	\$ -5.297,05	13	\$ 212,27
1	\$ 212,27	14	\$ 212,27
2	\$ 212,27	15	\$ 212,27
3	\$ 212,27		
4	\$ 212,27		
5	\$ 212,27		
6	\$ 212,27		
7	\$ 212,27		
8	\$ 212,27		
9	\$ 212,27		
10	\$ 212,27		
11	\$ 212,27		
12	\$ 212,27		

Esto significa que la batería termina su vida útil al transcurrir 1 año lo que influye directamente el análisis del valor actual neto, una vez determinados estos factores, se puede determinar la rentabilidad de usar generadores fotovoltaicos como fuente de energía del sistema de iluminación LED, usando VAN y TIR, como se muestra en la Tabla 5.50.

**Tabla 5. 50.** Rentabilidad de usar generadores fotovoltaicos de concentración como fuente de energía del sistema de iluminación LED

Inversión	4961,048	Plazo	15	Tasa de interés anual	8,12%		
Periodos	Egreso		Ingresos	Flujo de Caja Neto	Valor Actual	VA-INV. Batería	Período de recuperación tradicional
	Inversión	Gastos					
0	4961,048			-4961,048	-4961,048	-4961,048	-4961,048
1	2000	20	232,26912	212,26912	196,3273	-1803,6727	-4748,779
2	2000	20	232,26912	212,26912	181,5828	-1818,4172	-4536,509
3	2000	20	232,26912	212,26912	167,9456	-1832,0544	-4324,240
4	2000	20	232,26912	212,26912	155,3326	-1844,6674	-4111,971
5	2000	20	232,26912	212,26912	143,6669	-1856,3331	-3899,702
6	2000	20	232,26912	212,26912	132,8772	-1867,1228	-3687,433
7	2000	20	232,26912	212,26912	122,8979	-1877,1021	-3475,164
8	2000	20	232,26912	212,26912	113,6681	-1886,3319	-3262,895
9	2000	20	232,26912	212,26912	105,1314	-1894,8686	-3050,626
10	2000	20	232,26912	212,26912	97,2359	-1902,7641	-2838,356
11	2000	20	232,26912	212,26912	89,9333	-1910,0667	-2626,087
12	2000	20	232,26912	212,26912	83,1791	-1916,8209	-2413,818
13	2000	20	232,26912	212,26912	76,9322	-1923,0678	-2201,549
14	2000	20	232,26912	212,26912	71,1545	-1928,8455	-1989,280
15		20	232,26912	212,26912	65,8107	65,8107	-1777,011
				Tasa Interna de Retorno	-5,0921%	VAN	-31157,37208

Actualmente, la propuesta no es rentable porque el VAN es menor que cero y la TIR es menor que el costo de oportunidad del capital (COK). En proyectos fotovoltaicos donde no se dispone de incentivos por parte del gobierno o una inversión de las empresas privadas sin fines de lucro, su rentabilidad es siempre negativa.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 6.1. CONCLUSIONES

- Al realizar el levantamiento del sistema de iluminación en el laboratorio de control y máquinas mediante el método de grilla o de cuadrícula, y la información obtenida con el luxómetro se verificó que los niveles de iluminación son inferiores a los límites establecidos en la normativa UNE 12464 y RETIE, ya que en la normativa los niveles que se debe cumplir son de 300 a 500 lx para los laboratorios y 200 lx para las bodegas.
- Las luminarias de cada sección de los laboratorios de máquinas y control han sido seleccionadas en función de sus características técnicas, tanto desde el punto de vista del consumo y la eficiencia que estas tienen, así como las perturbaciones que pueden ocasionar en los individuos, debido a las curvas fotométricas propias de cada luminaria.
- Una vez realizado el cálculo del sistema de iluminación se ha determinado cuál de los dos sistemas es más eficiente, esto se realizó en base a la potencia, la vida útil, el costo de energía y el valor medio de iluminancia obteniendo como resultado que la iluminación LED es la más adecuada para el cumplimiento de la normativa.
- Los sistemas fotovoltaicos se diseñan a partir de un estudio previo de la radiación solar en el sitio asignado o mediante datos históricos que son encontrados en diferentes fuentes entonces para el presente estudio se sacó datos de la NASA (data meteorology) dando como resultado que para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se consideró el mes de junio como el mes más desfavorable con una radiación de 7,784 kWh/m<sup>2</sup> día, asegurando que para el resto de meses se tendrá un correcto funcionamiento del sistema.
- En el estudio económico se ha obtenido los índices de rentabilidad del proyecto de iluminación LED mediante la generación fotovoltaica, en la Tabla 5.41 se presenta una inversión inicial de \$4.961,05, con ingresos anuales de \$232,27 y egresos de \$20,00 que se pueden apreciar en la Tabla 5.45 y Tabla 5.48 respectivamente, además se considera la vida útil de las baterías de 1 año esto se obtuvo de las curvas del ciclo de vida en relación a la profundidad de descarga el cual influye en la inversión. Con estos parámetros se alcanza un valor de \$-31.157,37 para el VAN y -5,0921% en el caso del TIR, por tal razón el proyecto no resulta factible.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Efectuar mediciones anuales de los niveles de iluminación y luminancia para llevar un control adecuado que permita realizar un mantenimiento correctivo de ser necesario.
- Es recomendable que si se desea añadir mayor carga al inversor se verifique que se encuentre dentro de los rangos aceptables del mismo y de esta manera dimensionar las protecciones acorde a la carga que se pretenda suministrar.
- Se debe tomar en cuenta los factores de corrección debido a la inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos, además de las sombras existentes en emplazamiento del campo fotovoltaico, para determinar el valor correcto de la radiación solar.
- Para los diferentes equipos del sistema fotovoltaico se debe verificar que cuenten con las características técnicas adecuadas y protecciones necesarias de acuerdo al tipo de instalación.
- Es recomendable realizar el cálculo y la instalación de elementos de protecciones para aislar los equipos en caso de mantenimiento.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] S. Elias, Arenas, David, and R. Bravo, ““APLICACIÓN DEL PLAN DE AHORRO DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN LA ESCUELA SUPERIOR DE COMPUTO (ESCOM) DEL IPN PRIMERA ETAPA,”” 2009.
- [2] Cristian and F. Salmón, “ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN CASO PRACTICO.,” 2015.
- [3] C. Joachin, “Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a la comunidad rural Buena Vista, San Marcos,” 2008.
- [4] R. E. Llopis and J. M. Pastor, “Diseño de una instalación fotovoltaica aislada para una explotación avícola.”
- [5] C. Guaman, M. Paul, P. Murillo, and N. Christos, “DISEÑO DE ILUMINACIÓN CON LUMINARIAS TIPO LED BASADO EN EL CONCEPTO EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT VISUAL, IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURA PARA PRUEBAS.,” 2015.
- [6] O. Taco and W. Miguel, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN, ALIMENTADO MEDIANTE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA EL COMPLEJO DEPORTIVO ‘LA BOMBONERITA,’” 2019.
- [7] G. Armijos and D. Pablo, ““Repotenciación del sistema fotovoltaico utilizado para iluminar el acceso principal de la vivienda sostenible del AEIRNNR,”” 2015.
- [8] F. de J. A. Garcés, “DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CON CAPACIDAD PARA 3 KILOVATIOS,” 2016.
- [9] J. Jiménez and D. David, ““DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO LED A TRAVÉS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA BRINDAR NIVELES DE CALIDAD DE ILUMINACIÓN EN EL PARQUEADERO N° 1 DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI,”” 2019.
- [10] G. M. Hugo and G. M. J. Luis, “Propuesta de un sistema de alumbrado exterior para los estacionamientos de la E.S.I.M.E. unidad zacatenco, por medio de luminarias con tecnología led,” 2015.
- [11] P. A. B. Espinosa, “Iluminación,” 2015.
- [12] R. C. Rodríguez, “Estudio y diseño del sistema de iluminación de un centro de uso general,” 2011.

- [13] L. Gerardo and M. Zhumi, “DIAGNÓSTICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CORRESPONDIENTES A LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO YANTSA ii ETSARI,” 2012.
- [14] O. Coloma, J. Stalin, V. Granoble, and G. Alfredo, “Diseño e implementación de un sistema de iluminación led fotovoltaica utilizando la plataforma APP inventor para monitoreo remoto de sus variables energéticas y control de energéticas y control de encendido aplicado al laboratorio de audiovisual de la es,” 2018.
- [15] L. P. A. Bladimir, “ESTUDIO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y SU INCIDENCIA EN LAS ACTIVIDADES EDUCATIVAS EN EL LABORATORIO DE MECANIZADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL AÑO 2017,” 2017.
- [16] N. Técnica, “Iluminación natural en unidades educativas (INEN 1153),” 1984. .
- [17] Ing Jorge A Caminos, “CRITERIOS DE DISEÑO EN ILUMINACIÓN Y COLOR,” 2011.
- [18] A. D. S. Unamuno, “Norma Ecuatoriana de la Construcción,” *Opt.Med S.a.*, 2018. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>.
- [19] ARCONEL, “Resolución Nor. ARCONEL -042/18 Regulacion Nor. ARCONEL-003/18,” *Arconel*. p. 41, 2018, [Online]. Available: <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/042-18.pdf>.
- [20] Centelsa, “Manual del electricista,” 2017. .
- [21] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], “Código eléctrico colombiano NTC2050,” *Código Eléctrico Colombiano*, 1998. [https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc\\_20500.pdf](https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc_20500.pdf).
- [22] Ministerio de Ciencia y Tecnología, “Guia-BT- anexo2. Cálculo de caídas de tensión,” *Ministerio De Ciencia Y Tecnología*, 2011. .
- [23] UNE 12464.1, “UNE 12464.1 Norma Europea sobre Iluminación para Interiores,” *Normativa*, 2002. .
- [24] M. de M. y Energía, “RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas,”

- Resolucion* 90708, 2013.  
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETI+E+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>.
- [25] N. T. Ecuatoriana, “Iluminación natural de edificios para fábricas y talleres,” 1984.
- [26] J. M. Garro, “Guía Técnica de Iluminación Contenido,” *Sylvania*, 2011.  
 file:///C:/Users/Usuario/Desktop/tesis/Manual-técnico-de-iluminación-Sylvania.pdf%0Afile:///C:/Users/Usuario/Downloads/Manual-técnico-de-iluminación-Sylvania.pdf.
- [27] X. E. Castells and S. B. Alsina, “Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad,” 2012.
- [28] L. A. A. Martínez and M. S. C. Panata, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD DE 20 kW/mes PARA SER UTILIZADOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES,” 2017.
- [29] R. Hernández, “Análisis de Factibilidad para la Instalación de un Sistema de Energía Limpia Mediante Celdas Fotovoltaicas para la Alimentación Eléctrica del Edificio 4 en el ITSLV,” 2017.
- [30] F. A. L. Salcedo, C. R. Carmona, and J. C. T. Caselin, “Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco,” 2012.
- [31] L. Ruiz and Pedro, “DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UNA VIVIENDA AISLADA.,” 2015.
- [32] J. D. V. Delgado and M. F. Z. Lucas, “EFICIENCIA DE LA HELIOFANÍA EN DIFERENTES TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE UN SISTEMA AISLADO EN LA ESPAM MFL,” 2018.
- [33] G. Andrade and M. Gabriel, ““Repotenciación del panel solar ubicado en el Laboratorio de Electrónica para utilizarlo como fuente emergente de iluminación,”” 2015.
- [34] Padilla and Nayla, “IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE ENERGIA RENOVABLE ALTERNATIVO PARA LA ELECTRIFICACION DEL COMANDO

DE LA GUARDIA NACIONAL ‘ESCUADRON MONTADO GUATOPO’,  
UBICADO EN EL PARQUE NACIONAL GUATOPO DEL ESTADO MIRANDA, ”  
2017.

- [35] J. Cano, “Manual de Usuario eSICET Manual de Usuario eSICET,” 2017.  
<http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/gsmmanualsmsconfiguratorl.pdf>.
- [36] O. J. P. Martinez, “ESTUDIO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
PANELES HÍBRIDOS TERMO FOTOVOLTAICOS PARA SUMINISTROS DE  
ELECTRICIDAD Y AGUA CALIENTE EN UNA VIVIENDA EN LA CIUDAD DE  
QUITO,” 2017.
- [37] M. A. Calderón, “FOTOVOLTAICO DE CONCENTRACIÓN PARA  
APLICACIONES DE CO-GENERACIÓN ” Maestro en Optomecatrónica,” 2018.
- [38] M. A. V. Castillo, “Montaje y repotenciación del sistema eléctrico de iluminación del  
taller mecánico de la universidad nacional de loja,,” 2015.
- [39] Calambur, “Electricidad,” 2011. .
- [40] A. S. Pastor, “PVGIS para el cálculo de instalaciones fotovoltaicas,” 2018. .

## 8. ANEXOS

### Anexo A. Memoria técnica

#### a) Diagrama unifilar de la instalación

El diagrama unifilar para el sistema fotovoltaico en los laboratorios de control y maquinas es el que muestra la Figura A.1. El SFV lo conforma por un arreglo mixto que está constituido por 2 subarreglos que a su vez están conectados dos en serie y uno en paralelo, el inversor es de tipo distribuido donde su potencia es de 3kVA y el sistema cuenta con un solo inversor.

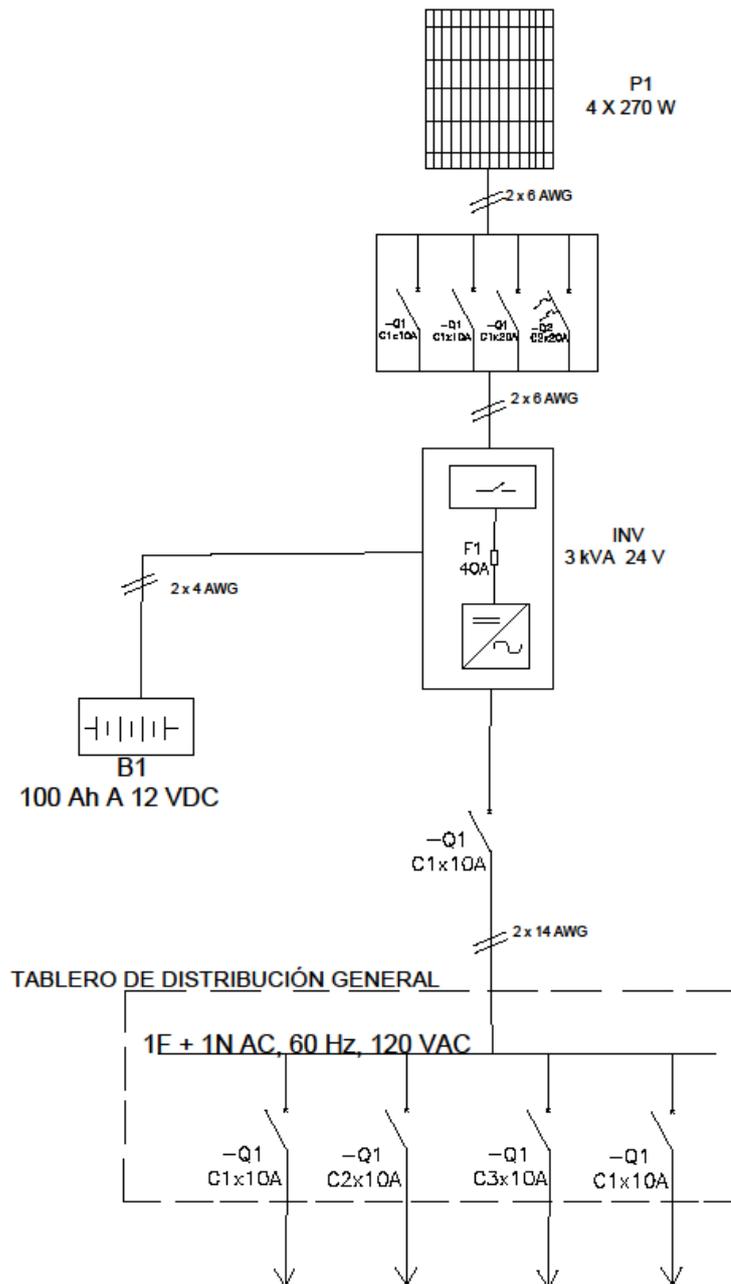


Figura A. 1. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.

**b) Especificaciones generales de los equipamientos**

Los datos técnicos se presentan en la Tabla 5.25 Y 5.23 estos son los Equipos seleccionados para el dimensionamiento de los laboratorios de control y máquinas donde es un inversor InfiniSolar V-LV-3K-24 y los paneles solar ECO GREEN ENERGY LMTD EGE-270P-60, las especificaciones técnicas de estos equipos se pueden observar en el Anexo B la Figura B.2 y B.1.

**c) Esquema de conexión a la red de distribución de bajo voltaje para los laboratorios de control y máquinas**

En el Anexo D se encuentra el esquema de la conexión a la red de distribución, el sistema está conectado a la red de baja tensión.

**d) Modo de conexión**

Se cuenta con un sistema híbrido que para la entrada de corriente alterna del inversor está conectada con la red monofásica de bajo voltaje tal como se muestra en el diagrama unifilar del punto 3 y la entrada de corriente continua del inversor está conectada con las baterías del SVF aportada por parte de los paneles fotovoltaicos. El sistema abastecerá de energía necesaria para los laboratorios de control y máquinas.

**e) Estudio del sistema de protecciones y equipo de seccionamiento para los laboratorios de control y máquinas**

El SFV debe contar con las medidas de protección necesarias para garantizar la seguridad del equipo y del personal que realiza ciertos tipos de mantenimiento, y esquema de protecciones.

El sistema de protección y los equipos de seccionamiento están compuestos por fusibles conectados a las polaridades positiva y negativa del arreglo de los paneles fotovoltaicos, además la salida DC debe tener un interruptor magneto térmico DC para proteger el inversor en la que cada fase de la salida de CA del inversor debe tener un interruptor termo magnético de CA para garantizar la conexión y desconexión del SFV. Todas las carcasas de los paneles fotovoltaicos deben estar conectados a tierra. Además, se deben instalar los dispositivos de protección recomendados por el Reglamento 003/18.

## f) Aspectos técnicos de las protecciones de los laboratorios de control y máquinas

Tabla A. 1. Características de las protecciones.

Protecciones		
Equipo	Cantidad	Nivel
Interruptores Termo magnéticos de CC bipolares	1	20A
Interruptores Termo magnéticos de CA polar	3	10A
Interruptor Automático Diferencial	1	140A
Fusibles	3	10A
Varistores CC	3	

- **Los interruptores Termo magnéticos de CC** deben proteger el SFV en caso de fallas o altos niveles de corriente que puedan afectar al inversor, y deben tener en cuenta los factores climáticos que pueden provocar variaciones de energía.
- **Los interruptores Termo magnéticos de CA** si falla el SFV o el inversor, permitirán la conexión y desconexión de la red.
- **Los Fusibles** son indispensables para la polaridad negativa y positiva de cada rama paralela de la configuración del panel fotovoltaico.
- **Los varistores** protegerán el circuito cuando sucedan las variaciones de voltaje del sistema.

## g) Número y potencia de los paneles fotovoltaicos

Para los laboratorios de control y energías fueron seleccionados los paneles solares con tecnología Policristalino ECO GREEN ENERGY LMTD EGE-270P-60 los aspectos técnicos se pueden observar en la Figura B.1. La potencia máxima que podrían alcanzar en condiciones estándar es de 270 Wp y serán necesarios 4 paneles para alcanzar la potencia deseada.

## h) Potencia total instalada del sistema fotovoltaico

La potencia instalada del sistema es de 1.08 (kW) siendo esta la opción factible para cubrir la energía que necesita los laboratorios de control y máquinas.

## i) Estimación de la producción energética mensual y anual de los laboratorios de control y máquinas

En la Tabla A.1 teniendo en cuenta la pérdida del sistema y la pérdida de temperatura, se define la energía mensual y anual del proyecto.

**Tabla A. 2.** Energía Neta Generada

Energía Neta Generada (kW.h)				
Mes	HSP	PR	Potencia instalada (Kw)	Energía Neta (kW.h)
Enero	128,4	0,78	1,08	127,5
Febrero	120,9	0,78	1,08	108,2
Marzo	119,1	0,78	1,08	90,7
Abril	112,5	0,78	1,08	70,9
Mayo	112,2	0,78	1,08	58,8
Junio	111,9	0,78	1,08	53,1
Julio	116,7	0,78	1,08	57,3
Agosto	121,8	0,78	1,08	69,7
Septiembre	127,8	0,78	1,08	88,3
Octubre	137,1	0,78	1,08	113,9
Noviembre	145,5	0,78	1,08	137,9
Diciembre	114,6	0,78	1,08	146,9
			Total	1123,11

**j) Características de los inversores**

Los inversores seleccionados para los laboratorios de control y maquinas son de tipo distribuido InfiniSolar V-LV-3K-24 para conexión con la red, este inversor tiene una potencia máxima de salida en CA de 3 (kW). Los aspectos técnicos se pueden observar en la Figura B.2.

**k) Potencia de cortocircuito de los laboratorios de control y máquinas**

A continuación, se presentan los valores de cortocircuito de la corriente y potencia del transformador trifásico ONAN 13,8/0,22 kV ubicado en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada, que se encuentra conectado a la red de distribución de la empresa ELEPCO.SA con una capacidad de 13,8 kV.

Para el cálculo de la corriente y la potencia de corto circuito se lo realizo en el lado de baja tensión del transformador.

**Tabla A 3.**  
de cortocircuito.

Potencia y Corriente de Cortocircuito			
Voltaje	Tipo	Corriente (KA)	Potencia (KVA)
0,22 kV	Trifásico	0,7873	0,3

Potencia y corriente

**l) Características de punto de entrega y medición de los laboratorios de control y máquinas**

El medidor recomendado por la empresa distribuidora de energía debe cumplir con los parámetros al igual que con las especificaciones requeridas para un funcionamiento adecuado, el punto de entrega debe ser fácilmente accesible para recopilar la información correctamente. Actualmente se encuentra instalado un medidor electrónico 3 fases, 4 hilos, clase 10, con registro de energía activa, reactiva, demanda.

**m) Los niveles de voltaje máximos y mínimos de la red**

El voltaje máximo conectado a la red es de 13,8KVA

**Anexo B. Manual del inversor híbrido**

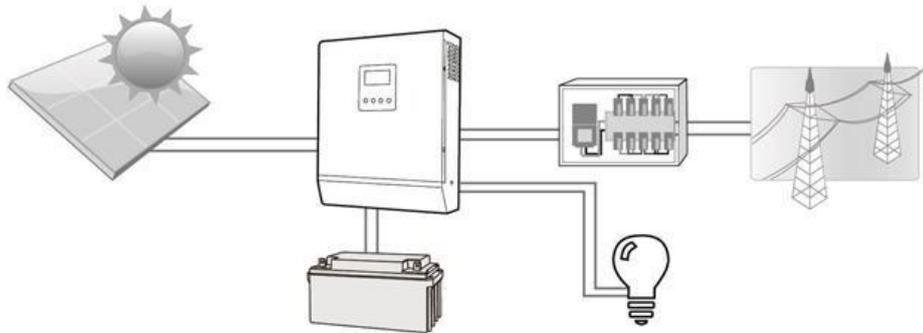
**Anexo B.1. Las instrucciones de seguridad**

- **PRECAUCIÓN:** Para reducir el riesgo de lesiones, cargue sólo baterías recargables de tipo plomo-ácido de ciclo profundo. Otros tipos de baterías pueden explotar y causar lesiones personales y daños.
- No desmonte la unidad. Llevarlo a un centro de servicio calificado cuando se requiera mantenimiento o reparación.
- EL montaje incorrecto puede resultar en un riesgo de descarga eléctrica o un incendio.
- Para reducir el riesgo de descarga eléctrica, desconecte todos los cableados antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento o limpieza. Apagar la unidad no va a reducir este riesgo.
- **NUNCA:** cargar una batería congelada.
- Para un funcionamiento óptimo de este inversor / cargador, siga especificación requerida para seleccionar cable adecuado al tamaño. Es muy importante para que funcione correctamente este inversor / cargador.
- Tenga mucho cuidado cuando se trabaja con herramientas de metal en o alrededor de las baterías. Existe un riesgo potencial, una herramienta puede producir chispas o cortocircuitos en las pilas u otras partes eléctricas y podría causar una explosión.

- **INSTRUCCIONES DE PUESTA A TIERRA:** Este inversor / cargador debe estar conectado a una conexión a tierra permanente sistema de cableado. Asegúrese de cumplir con los requisitos y regulaciones locales para instalar este inversor.

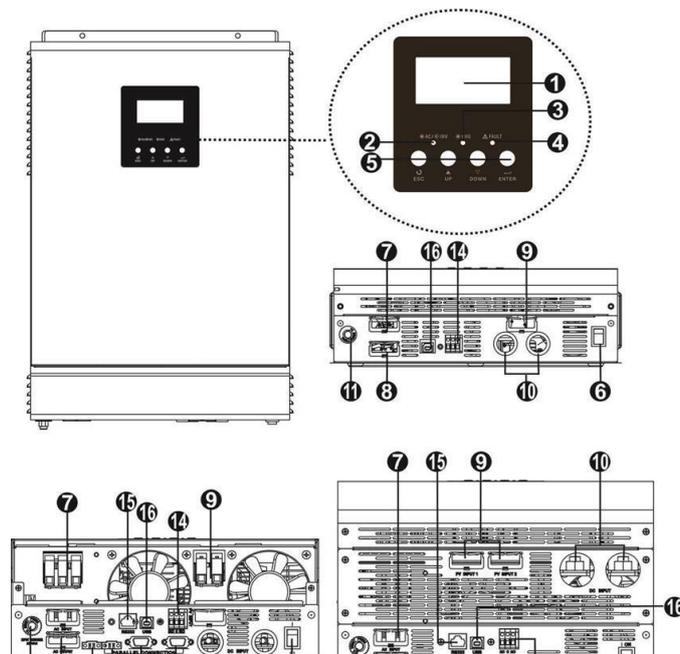
### Anexo B.2. Introducción

Este inversor fotovoltaico híbrido puede proporcionar energía a las cargas conectadas mediante la utilización de energía fotovoltaica, energía de la red y energía de la batería.



**Figura B. 1.** Híbrido básico PV descripción general del sistema.

Dependiendo de las diferentes situaciones de poder, este inversor híbrido está diseñado para generar energía continua de PV módulos solares (paneles solares), la batería y la utilidad. Cuando la tensión de entrada MPP de módulos fotovoltaicos está dentro del rango aceptable (ver especificación para los detalles), este inversor es capaz de generar energía para alimentar a la red (utilidad) y carga de la batería. Aislamiento galvánico diseñado entre PV / DC y la salida de CA, de manera que usuario puede conectar cualquier tipo de generador fotovoltaico a este inversor híbrido. Véase la Figura 1 para un diagrama simple de un sistema solar típico



**Figura B. 2.** Descripción del producto.

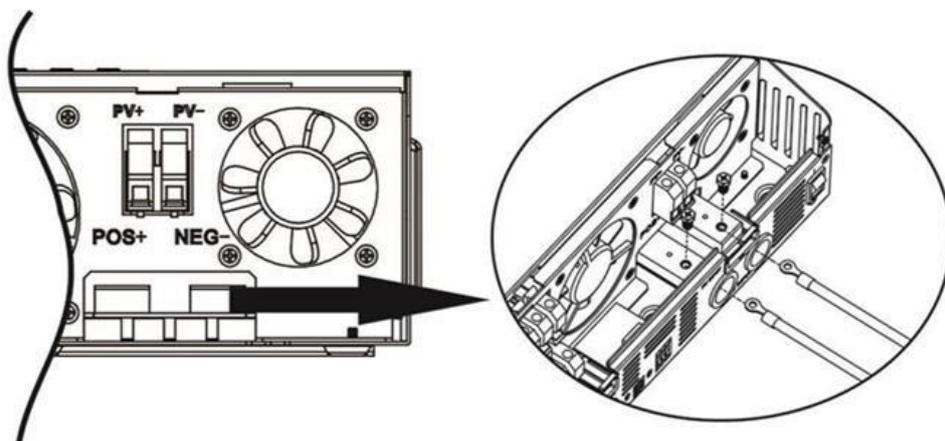
con este inversor híbrido.

NOTA: Para la instalación del modelo de funcionamiento paralelo y, por favor, consulte la guía de instalación paralela separada para los detalles.

1. Pantalla LCD
2. Indicador de estado
3. Indicador de carga
4. El indicador de error
5. Botones de función
6. La energía del interruptor de encendido / apagado
7. Conectores de cuadrícula
8. Conectores de salida de CA (conexión de la carga) puerto de comunicación USB
9. Conectores fotovoltaicos

### **Anexo B.3. Conexión de la batería**

PRECAUCIÓN: Para la operación de seguridad y el cumplimiento de la regulación, es solicitado para instalar un protector separado DC exceso de corriente o un dispositivo de desconexión entre la batería y el inversor. No puede ser solicitada a tener un dispositivo de desconexión en algunas aplicaciones, sin embargo, sigue siendo solicitado tener instalado el exceso de protección actual. Por favor refiérase a la intensidad de corriente típica en la tabla a continuación como fusible necesario o tamaño del interruptor.



**Figura B. 3.** Conexión de la batería.

#### Anexo B.4. Entrada de c.a. / conexión de salida

**PRECAUCIÓN:** Antes de conectar a la fuente de alimentación de CA, instale una separar interruptor AC entre el convertidor y la fuente de energía de entrada de CA. Esto asegurará que el inversor puede ser de forma segura desconectada durante el mantenimiento y completamente protegido de sobre corriente de entrada de CA.

**PRECAUCIÓN:** Hay dos bloques de terminales con marcas “OUT” “IN” y. Por favor, no mis- conectan los conectores de entrada y salida.

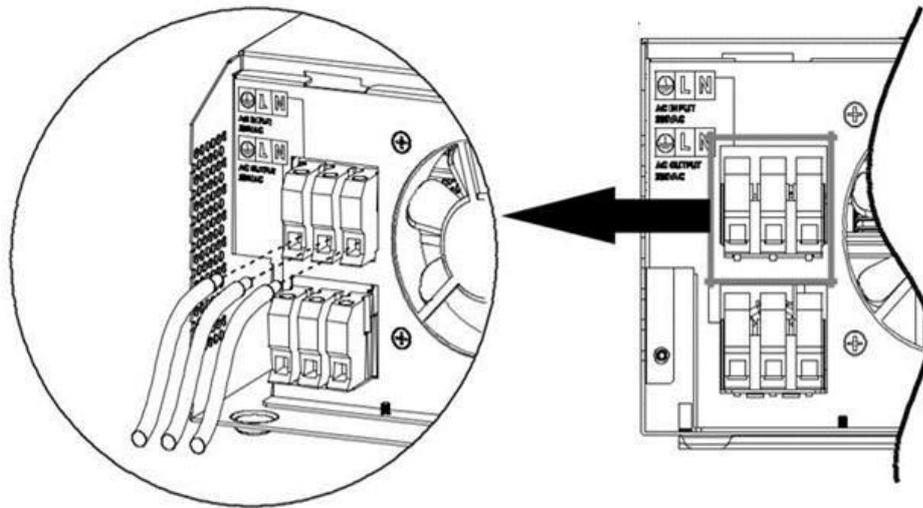


Figura B. 4. Entrada de CA.

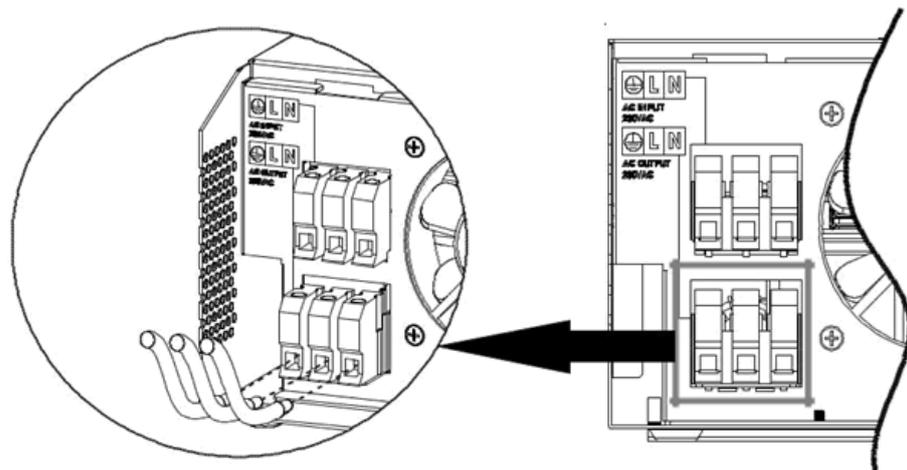
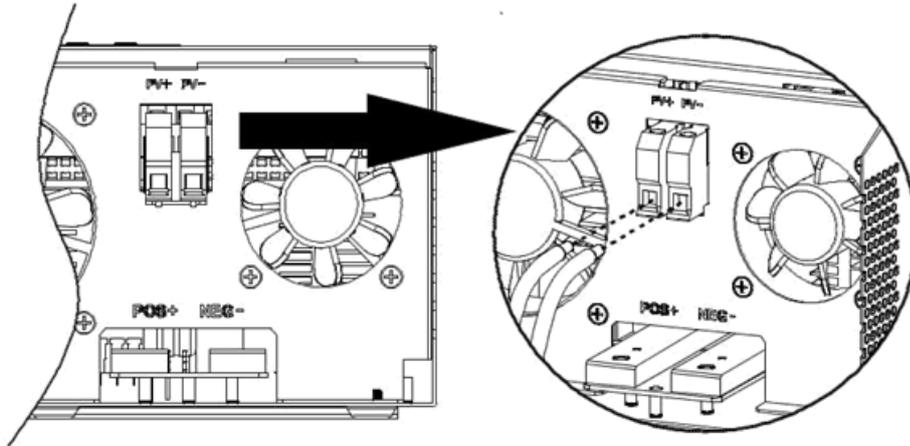


Figura B. 5. Conexión de salida.

### Anexo B.5. Conexión pv

**PRECAUCIÓN:** Antes de conectar a los módulos fotovoltaicos, instale por separado un interruptor de circuito de CC entre módulos inversores y PV.

PV Selección del módulo:

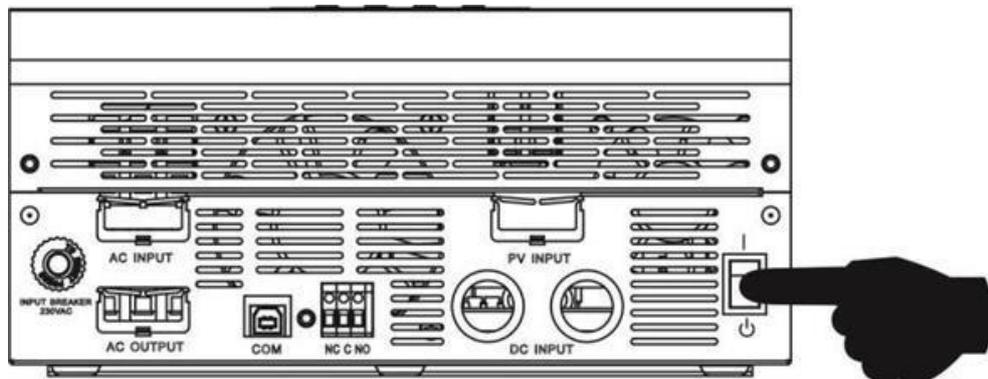


**Figura B. 6.** Conexión PV.

Al seleccionar los módulos fotovoltaicos apropiados, por favor asegúrese de considerar debajo de los parámetros:

1. Voltaje de circuito abierto (Voc) de módulos fotovoltaicos no excede max voltaje de circuito abierto fotovoltaico del inversor.
2. Voltaje de circuito abierto (Voc) de los módulos fotovoltaicos debe ser superior a min voltaje de la batería.

### Anexo B.6. Operación

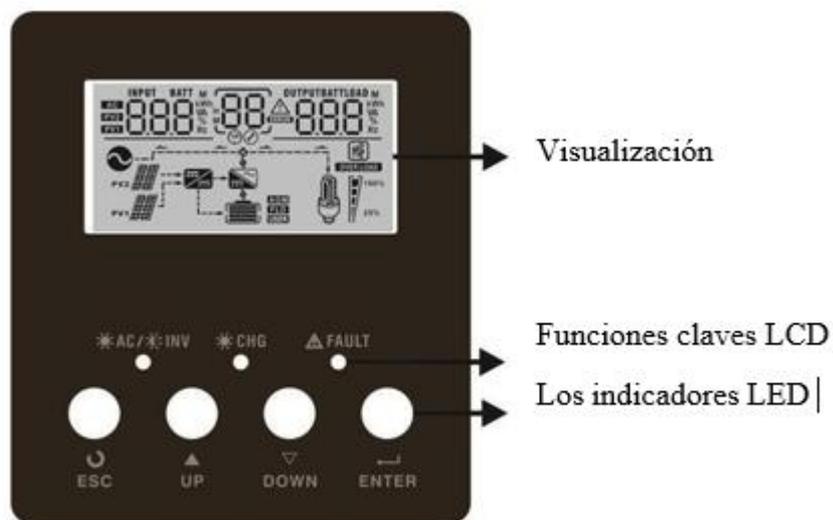


**Figura B. 7.** Encendido/ Apagado.

Una vez que la unidad se ha instalado correctamente y las baterías están conectadas así, sólo tiene que pulsar On / Off (que se encuentra en el botón de la caja) para encender la unidad.

### Anexo B.7. Panel operación y visualización

El panel de operación y la pantalla, se muestra en la tabla a continuación, es en el panel frontal del inversor. Incluye tres indicadores, cuatro teclas de función y una pantalla LCD, que indica el estado operativo y la información de potencia de entrada / salida.



**Figura B. 8.** Panel operación y visualización.

## Anexo C. Características y especificaciones técnicas de los elementos

### ELECTRICAL DATA AT STC\*

Power output (Pmax)	260 W	265 W	270 W	275 W
Power tolerance	0-+5 W	0-+5 W	0-+5 W	0-+5 W
Module efficiency	15.99 %	16.29 %	16.60 %	16.90 %
Maximum power voltage (Vmp)	30.90 V	31.16 V	31.44 V	31.70 V
Maximum power current (Imp)	8.41 A	8.50 A	8.59 A	8.68 A
Open circuit voltage (Voc)	38.05 V	38.26 V	38.45 V	38.75 V
Short circuit current (Isc)	8.86 A	8.95 A	9.03 A	9.11 A

\*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m<sup>2</sup> • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

### ELECTRICAL DATA AT NOCT\*

Power output (Pmax)	192.34 W	196.04 W	199.74 W	203.44 W
Maximum power voltage (Vmp)	28.54 V	28.78 V	29.04 V	29.27 V
Maximum power current (Imp)	6.73 A	6.80 A	6.87 A	6.94 A
Open circuit voltage (Voc)	35.14 V	35.34 V	35.51 V	35.79 V
Short circuit current (Isc)	7.19 A	7.27 A	7.33 A	7.40 A

\*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m<sup>2</sup> • Ambient temperature: 20°C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	-45 °C ±2°C
Temperature coefficient of Pmax	-0.41%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.00%/°C

### MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-45°C -+85°C
Maximum system voltage	1500 V
Max series fuse rating	15 A
Max front load (e.g.: snow)	5 400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2 400 Pa

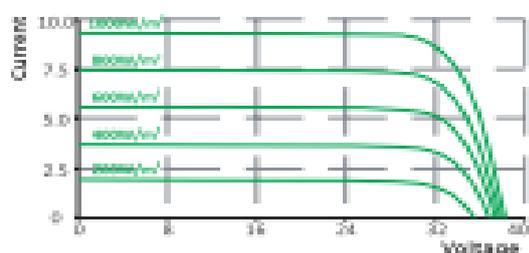
### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Polycrystalline (156x156 mm)
Number of cells	60
Dimensions	1640x992x35 mm
Weight	18.8 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP65 or IP67
Cable	0.9 m
Connector	MC4 or MC4 compatible

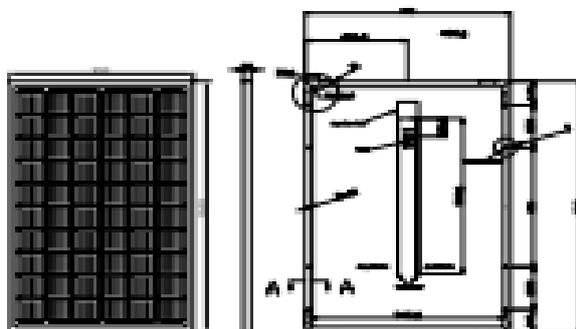
### PACKAGING

Type	Pcs	Weight
Pallet	30 pcs	620 kg
20ft GP Container	386 pcs	81.0 t
40ft GP Container	804 pcs	18.0 t
40ft HQ Container	920 pcs	19.0 t

### I-V CURVES



### ENGINEERING DRAWINGS (mm)



**Model No. : InfiniSolar V-LV-3K-24**

**Serial No. :**   
96111810100035

PV INPUT	Nominal operating voltage 80Vdc
	Vmax PV 145Vdc
	PV input voltage range 20-145Vdc
	Isc PV 80A
	MPPT voltage range 30 ~ 115Vdc
GRID/AC OUTPUT	Nominal operating voltage 110/120 Vac
	Nominal output current 28A
	Nominal operating frequency 50/60Hz
	Maximum power 3000VA
AC INPUT	Nominal operating voltage 110/120Vac
	Maximum input current 40A
	Nominal operating frequency 50/60Hz
BATTERY	Battery voltage range 21~28Vdc
	Maximum battery current 132A

Ambient temperature:-10~+55°C  
Enclosure:IP 21  
Safety class I















5min



WARNING:FIRE HAZARD.  
SUITABLE FOR MOUNTING ON CONCRETE OR OTHER  
NON-COMBUSTIBLE SURFACE ONLY  
CAUTION:THE DC AND AC BREAKER MUST HAVE BEEN  
TURNED OFF BEFORE SERVICING.  
MADE IN CHINA

Figura C. 2. Especificaciones técnicas del inversor

**GENERAL FEATURES**

- Designed with GEL (Absorbent Glass Mat) technology, equipping high performance plates and electrolyte, the 6GFM100 is a general-purpose VRLA battery with a lifespan of 10 years for float charging at 25°C
- Using oxygen recombination technology, maintenance-free.
- ABS material: enhanced strength of the battery container. (Flame-retardant ABS is optional).

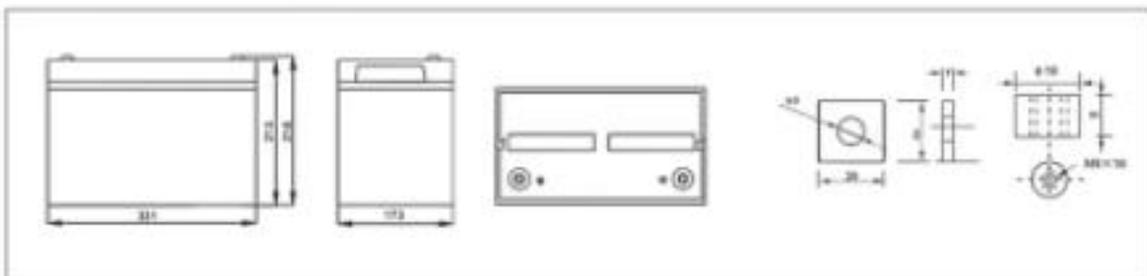
**APPLICATIONS**

- All purpose
- Uninterruptable Power Supply (UPS)
- Electric Power System (EPS)
- Emergency backup system
- Emergency light
- Railway Signal
- AircraG signal
- Alarm and security system
- Electronic apparatus and equipment
- Communication power supply
- DC power supply
- Auto control system

**SPECIFICATIONS**

Model	Nominal Voltage	12V		
	Rated Capacity (10hr rate)	100Ah		
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	331mm (13.03")	173mm (6.81")	213mm (8.39")	218mm (9.17")
Weight	Approx. 29kg ± 3%			
Capacity @25°C (77°F)	10 hour (10A, 10.8V)	5 Hour (16A, 10.5V)	3 Hour (25A, 10.2V)	1 Hour (60A, 9.6V)
	100Ah	80Ah	75Ah	60Ah
Internal Resistance	Fully charged at 25°C, approx. 3.9mΩ			
Max. Discharge Current	3000A (5 Sec.)			
Capacity Affected by Temp. (10hr)	40°C (104°F)	25°C (77°F)	0°C (32°F)	-15°C (5°F)
	102%	100%	85%	65%
Self Discharge Rate	After 3 months Storage	After 6 months Storage	After 12 months Storage	
	91%	82%	64%	
Charge Method	Cycle Use		Float Charging	
	14.1-14.4V (Initial current less than 40A) @25°C (77°F)		13.5-13.8V@25°C (77°F)	

**DIMENSIONS & TERMINALS**



**Figura C. 3.** Especificaciones técnicas de las baterías.

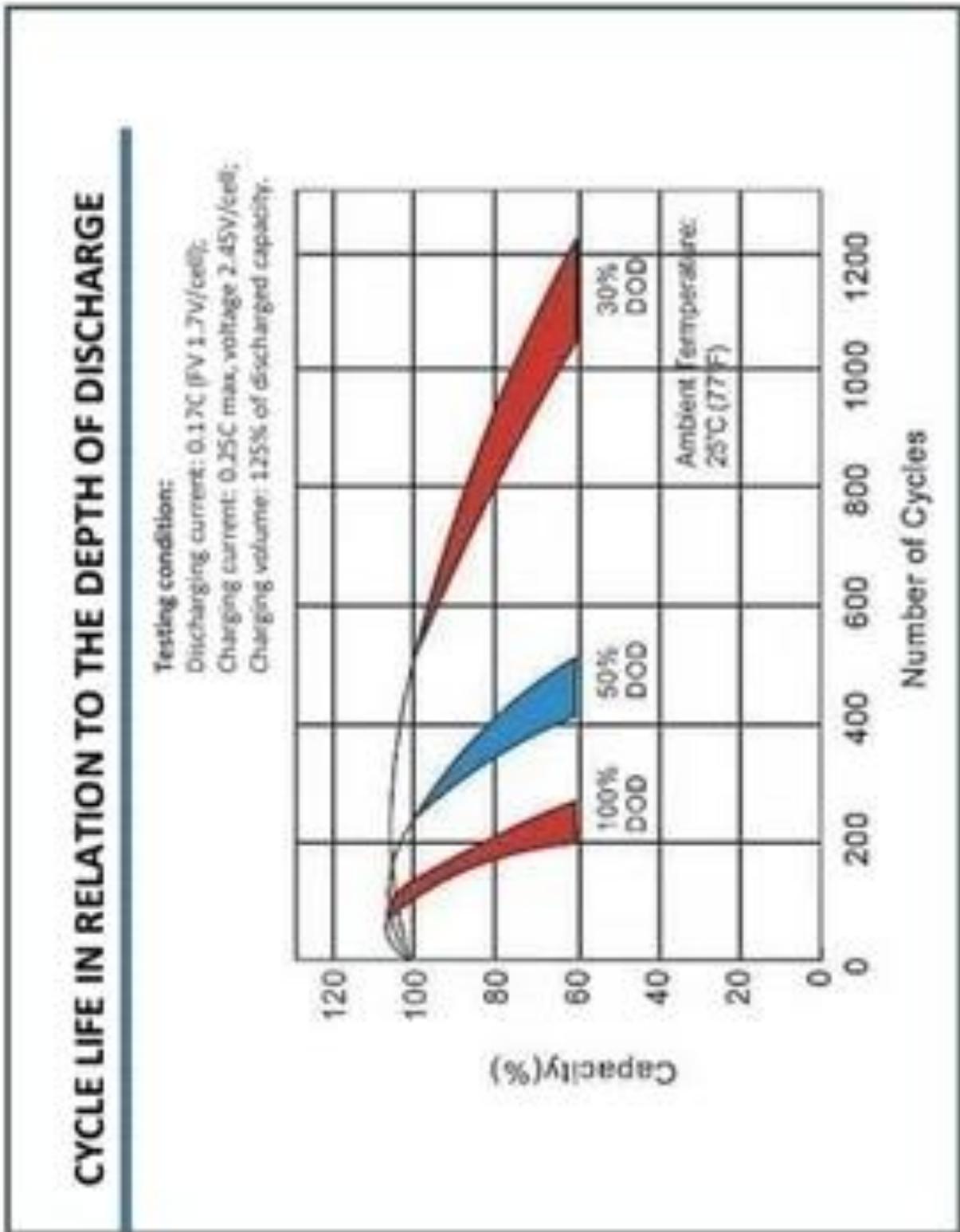
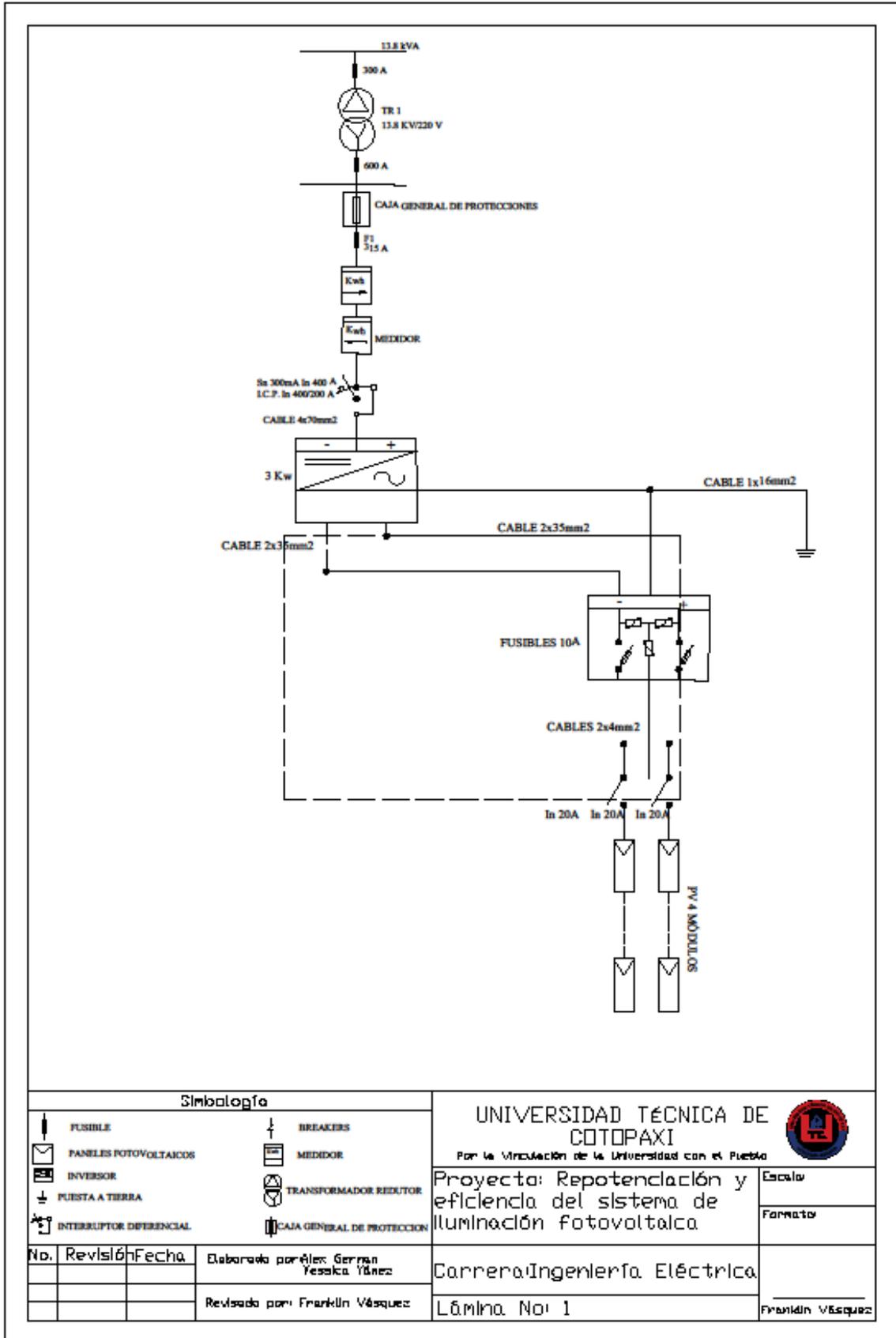
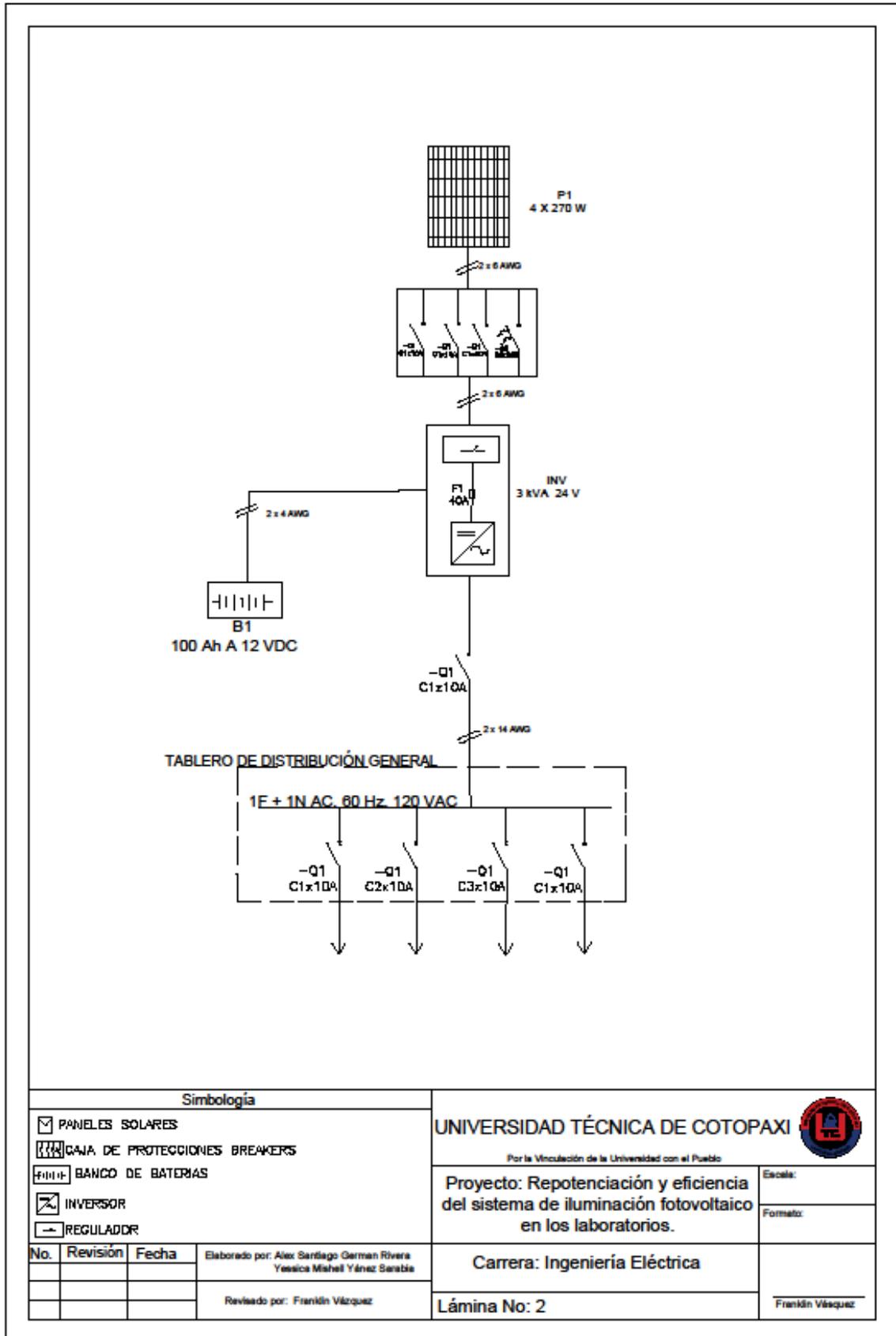


Figura C. 4. Curva de las baterías.

Anexo D. Esquema a la red de distribución de bajo voltaje



Anexo E. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico aislado a la red



## Anexo F. Características y especificaciones para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico

2. EDIFICIOS EDUCATIVOS						
Nº REF.	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	$E_m$ lux	UGR <sub>l</sub>	$U_o$	$R_a$	OBSERVACIONES
2.1	AULAS, AULAS DE TUTORÍA	300	19	0,6	80	- La iluminación debería ser controlable.
2.2	AULAS PARA CLASES NOCTURNAS Y EDUCACIÓN DE ADULTOS	500	19	0,6	80	- La iluminación debería ser controlable.
2.3	SALA DE LECTURA	500	19	0,6	80	- La iluminación debería ser controlable para colocar varias A/V necesarias
2.4	PIZARRA	500	19	0,7	80	- Deben evitarse las reflexiones especulares el presentador/profesor debe iluminarse con la iluminación vertical adecuada
2.5	MESA DE DEMOSTRACIONES	500	19	0,7	80	- En salas de lectura 750 LUX.
2.6	AULAS DE ARTE	500	19	0,6	80	
2.7	AULAS DE ARTE EN ESCUELAS DE ARTE	750	19	0,7	90	- 5000 K - 6500 K
2.8	AULAS DE DIBUJO TÉCNICO	750	16	0,7	80	
2.9	AULAS DE PRÁCTICAS Y LABORATORIOS	500	19	0,6	80	
2.10	AULAS DE MANUALIDADES	500	19	0,6	80	
2.11	TALLERES DE ENSEÑANZA	500	19	0,6	80	
2.12	AULAS DE PRÁCTICAS DE MÚSICA	300	19	0,6	80	
2.13	AULAS DE PRÁCTICAS DE INFORMÁTICA	300	19	0,6	80	
2.14	LABORATORIOS DE LENGUAS	300	19	0,6	80	
2.15	AULAS DE PREPARACIÓN Y TALLERES	500	22	0,6	80	
2.16	HALLS DE ENTRADA	200	22	0,4	80	
2.17	ÁREAS DE CIRCULACIÓN, PASILLOS	100	25	0,4	80	
2.18	ESCALERAS	150	25	0,4	80	
2.19	AULAS COMUNES DE ESTUDIO Y AULAS DE REUNIÓN	200	22	0,4	80	
2.20	SALAS DE PROFESORES	300	19	0,6	80	
2.21	BIBLIOTECA: ESTANTERÍAS	200	19	0,6	80	
2.22	BIBLIOTECA: SALAS DE LECTURA	500	19	0,6	80	
2.23	ALMACENES DE MATERIAL DE PROFESORES	100	25	0,4	80	
2.24	SALAS DE DEPORTE, GIMNASIOS, PISCINAS (USO GENERAL)	300	22	0,6	80	- Véase la UNE 12193 para las condiciones de entrenamiento.
2.25	CANTINAS ESCOLARES	200	22	0,4	80	
2.26	COCINA	500	22	0,6	80	

Figura F. 1. Norma europea sobre la iluminación para interiores UNE 12464.1 [23].

Parte de la instalación	Para alimentar a :	Caída de tensión máxima en % de la tensión de suministro.	$e=\Delta U_{III}$	$e=\Delta U_I$
LGA: (Línea General de Alimentación)	Suministros de un único usuario	No existe LGA	--	--
	Contadores totalmente concentrados	0,5%	2 V	--
	Centralizaciones parciales de contadores	1,0%	4 V	--
DI (Derivación Individual)	Suministros de un único usuario	1,5%	6 V	3,45 V
	Contadores totalmente concentrados	1,0%	4 V	2,3 V
	Centralizaciones parciales de contadores	0,5%	2 V	1,15 V
Circuitos interiores	Circuitos interiores en viviendas	3%	12 V	6,9 V
	Circuitos de alumbrado que no sean viviendas	3%	12 V	6,9 V
	Circuitos de fuerza que no sean viviendas	5%	20 V	11,5 V

Figura F. 2. Límites de caídas de tensión reglamentarias.

Tamaño o designación	Área nominal de la sección transversal	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
					Ampere		
AWG/kcmil	mm <sup>2</sup>	mm	mm	kg/100 m	60°C	75°C	90°C
14	2,08	0,76	3,4	2,9	20	20	25
12	3,31	0,76	3,9	4,2	25	25	30
10	5,26	0,76	4,5	6,2	30	35	40
8	8,37	1,14	5,9	10,4	40	50	55
6	13,3	1,52	7,6	16,8	55	65	75
4	21,2	1,52	8,8	24,8	70	85	95
2	33,6	1,52	10,3	37,2	95	115	130
1	42,4	2,03	12,2	49,0	110	130	150
1/0	53,5	2,03	13,2	59,9	125	150	170
2/0	67,4	2,03	14,3	73,7	145	175	195
3/0	85,0	2,03	15,6	90,9	165	200	225
4/0	107	2,03	17,0	112,6	195	230	260
250	127	2,41	19,0	134,2	215	255	290
300	152	2,41	20,3	158,4	240	285	320
350	177	2,41	21,6	182,4	260	310	350
400	203	2,41	22,7	207,4	280	335	380
500	253	2,41	24,8	254,9	320	380	430
600	304	2,79	27,6	306,4	355	420	475
750	380	2,79	30,2	383,5	400	475	535
1 000	507	2,79	34,0	504,3	455	545	615

**Figura F. 3.** CABLE CENTELSA THW/THHW-LS 600V con aislamiento de PVC, 600 V, 75 °C/ 90°C, conductor de cobre suave

Tamaño o designación	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*	
						Ampere	
AWG/kcmil	mm <sup>2</sup>		mm	mm	kg/100 m	75°C	90°C
14	2,082	7	0,76	3,5	3	20	25
12	3,307	7	0,76	4,0	4	25	30
10	5,260	7	0,76	4,6	6	35	40
8	8,367	7	1,14	6,2	10	50	55
6	13,30	7	1,14	7,2	15	65	75
4	21,15	7	1,14	8,4	23	85	95
2	33,62	7	1,14	10,0	35	115	130
1	42,41	19	1,40	11,7	44	130	150
1/0	53,48	19	1,40	12,7	54	150	170
2/0	67,43	19	1,40	13,9	68	175	195
3/0	85,01	19	1,40	15,2	84	200	225
4/0	107,2	19	1,40	16,7	105	230	260
250	126,7	37	1,65	18,5	125	255	290
300	152,0	37	1,65	19,9	148	285	320
350	177,3	37	1,65	21,2	172	310	350
400	202,7	37	1,65	22,4	196	335	380
500	253,4	37	1,65	24,6	243	380	430
600	304,0	61	2,03	27,5	293	420	475
750	380,0	61	2,03	30,2	364	475	535
1 000	506,7	61	2,03	35,1	482	545	615

**Figura F. 4.** CABLE CENTELSA XHHW-2 600 V, 90° C con aislamiento de XLPE negro 600 V, 90°C, conductor de cobre suave.

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
	Min.	Medio	Máx.
Hospitales			
Salas			
Iluminación general	50	100	150
Examen	200	300	500
Lectura	150	200	300
Circulación nocturna	3	5	10
Salas de examen			
Iluminación general	300	500	750
Inspección local	750	1000	1500
Terapia intensiva			
Cabecera de la cama	30	50	100
Observación	200	300	500
Estación de enfermería	200	300	500
Salas de operación			
Iluminación general	500	750	1000
Iluminación local	10000	30000	100000
Salas de autopsia			
Iluminación general	500	750	1000
Iluminación local	5000	10000	15000
Consultorios			
Iluminación general	300	500	750
Iluminación local	500	750	1000
Farmacia y laboratorios			
Iluminación general	300	400	750
Iluminación local	500	750	1000
Colegios			
Salones de clase			
Iluminación general	300	500	750
Tableros para emplear con tizas	300	500	750
Elaboración de planos	500	750	1000
Salas de conferencias			
Iluminación general	300	500	750
Tableros	500	750	1000
Bancos de demostración	500	750	1000
Laboratorios	300	500	750
Salas de arte	300	500	750
Talleres	300	500	750
Salas de asamblea	150	200	300

**Figura F. 5.** Niveles de iluminancia aceptados para diferentes áreas y actividades [24].

Clase de local	lux
Salas de reunión	
Salas de reunión general	150
Salas para exámenes	300
Tarimas o plateas	300
Aulas y clases y lectura	
Sobre los escritorios	300
En el pizarrón	200 a 300*
Aulas para trabajos manuales y costura	700
Salas para artes (pintura, escultura, etc.)	450 ***
Laboratorios	300
Bibliotecas	
Estantes o anaqueles	70 a 150*
Mesas de lectura	
Entrenamiento manual	De acuerdo al ramo
Oficinas	300
Salas de consulta o comunales	150
Corredores	70
Escaleras	100
* Sobre el plano vertical	
** Se debe poner especial atención en la dirección y color de la luz.	

**Figura F. 6.** Valores recomendados de iluminancia [16].

Anexo G. Esquema de conexión y diagrama unifilar de luminarias y tomacorrientes

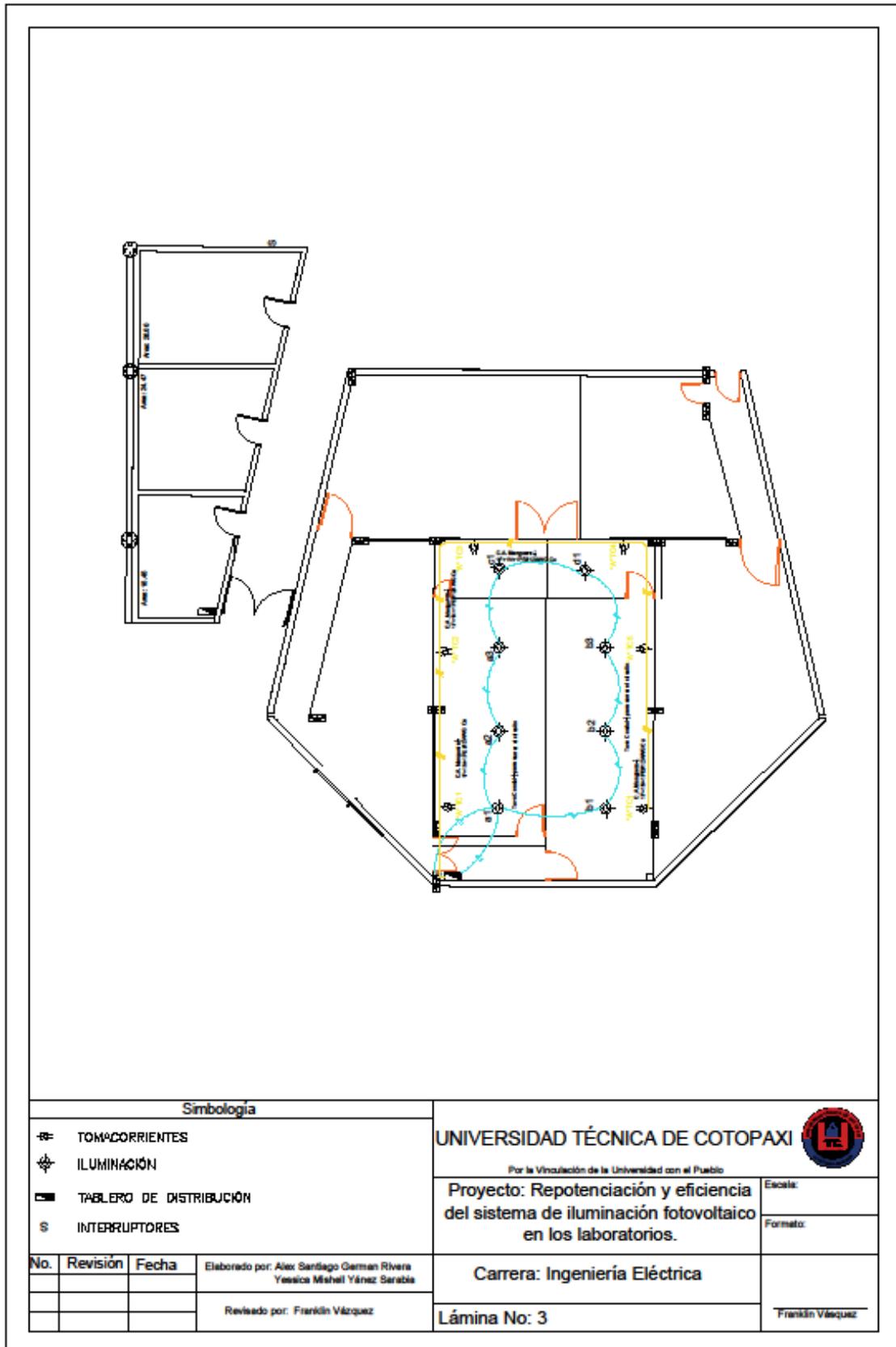


Figura G. 1. Esquema de conexión sistema de iluminación y tomacorrientes.

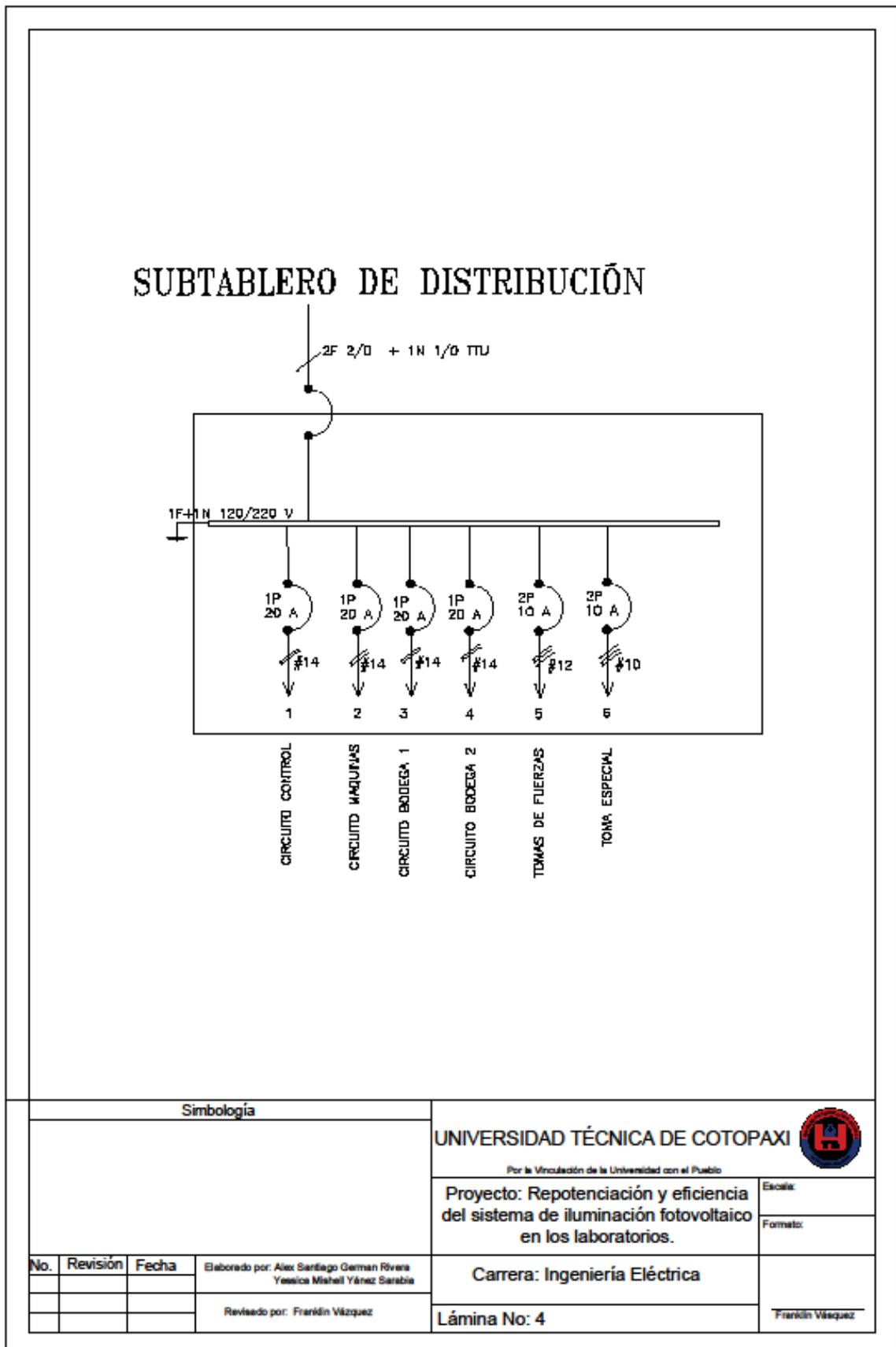


Figura G. 2. Diagrama unifilar de iluminación y tomacorrientes.

Anexo H. Esquema de conexión y diagrama unifilar del sistema de iluminación

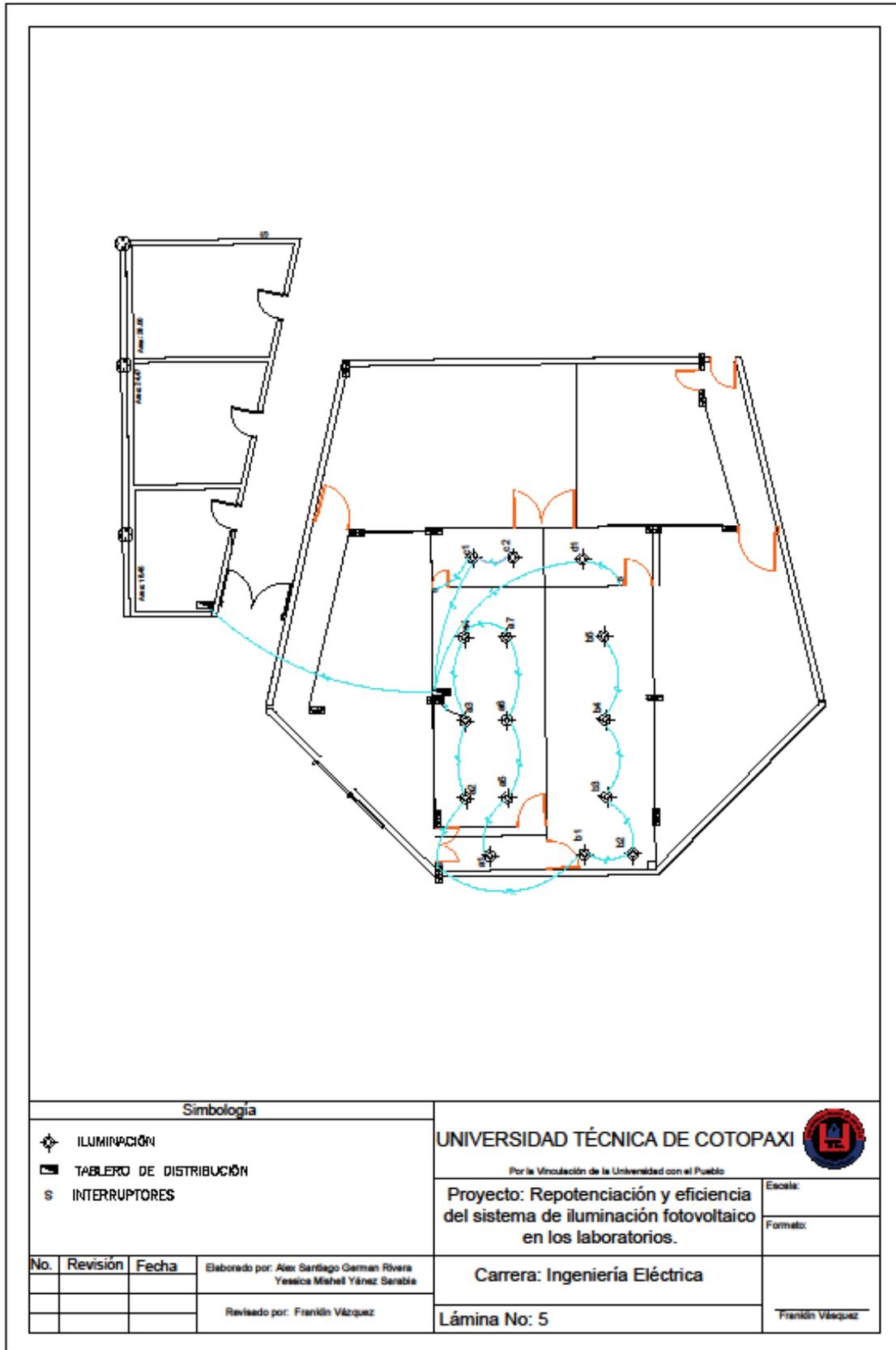


Figura H. 1. Esquema de conexión de iluminación.

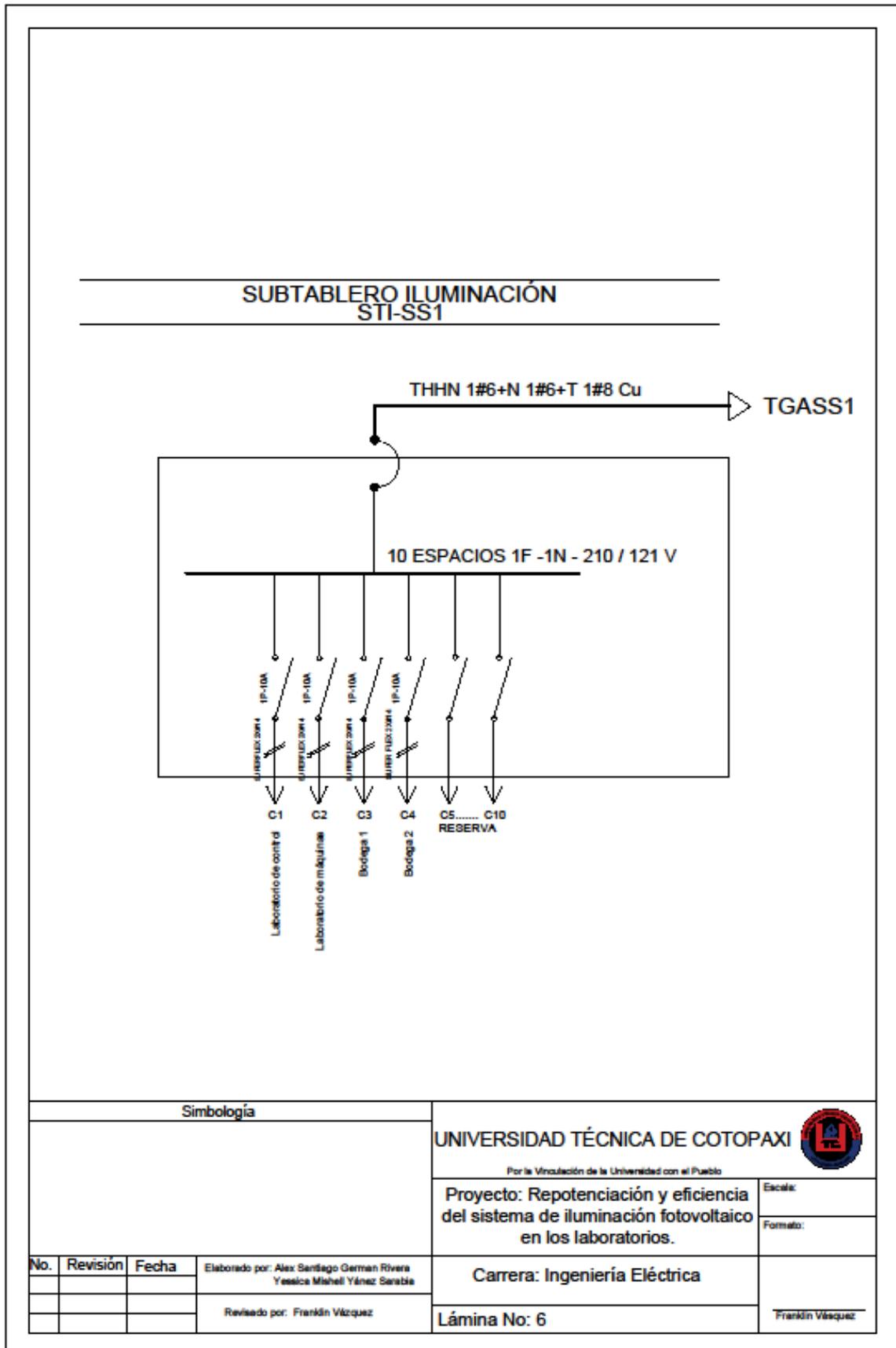


Figura H. 2. Diagrama unifilar de iluminación.

Anexo I. Esquema de conexión y diagrama unifilar del sistema de tomacorrientes

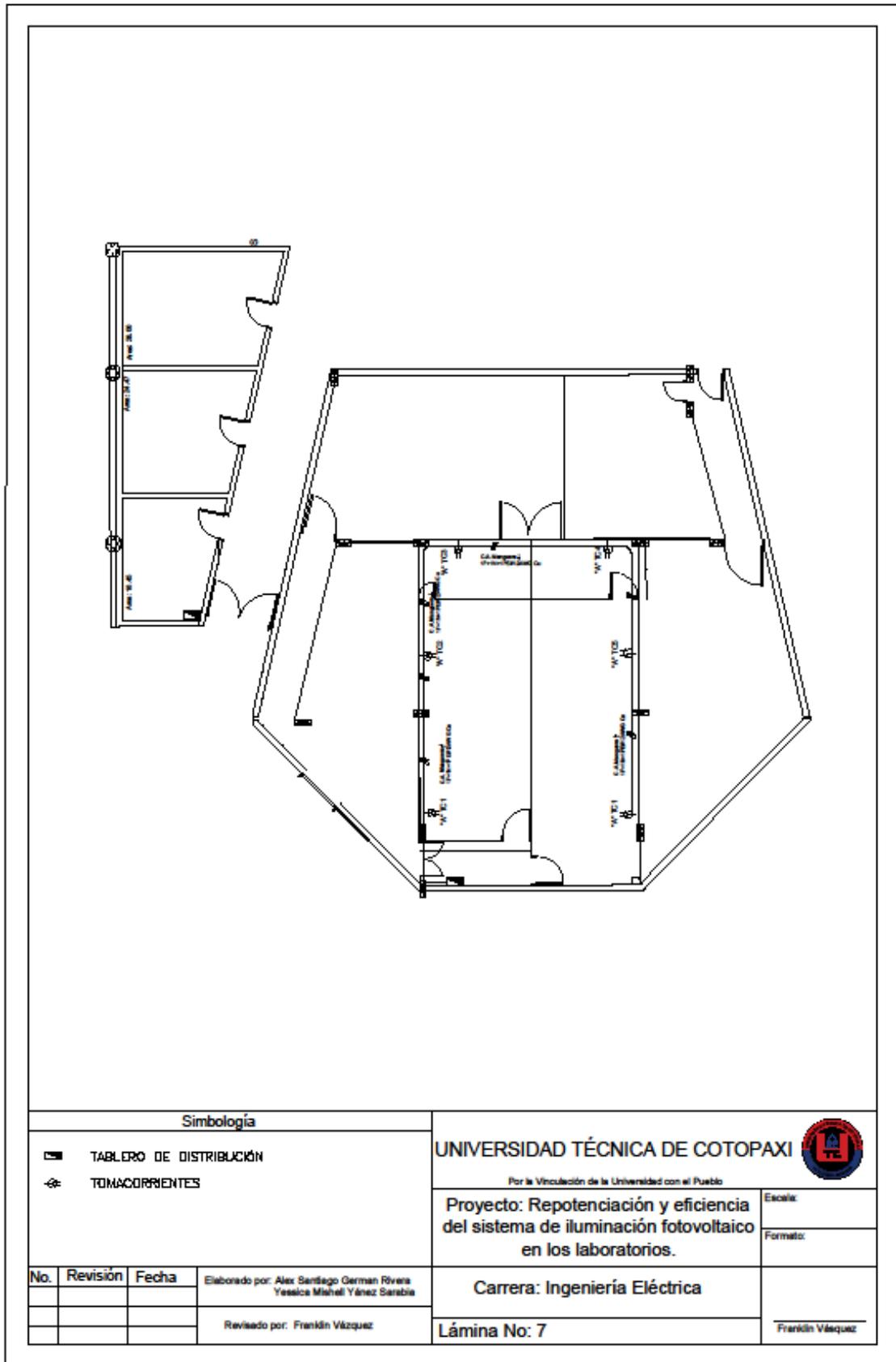
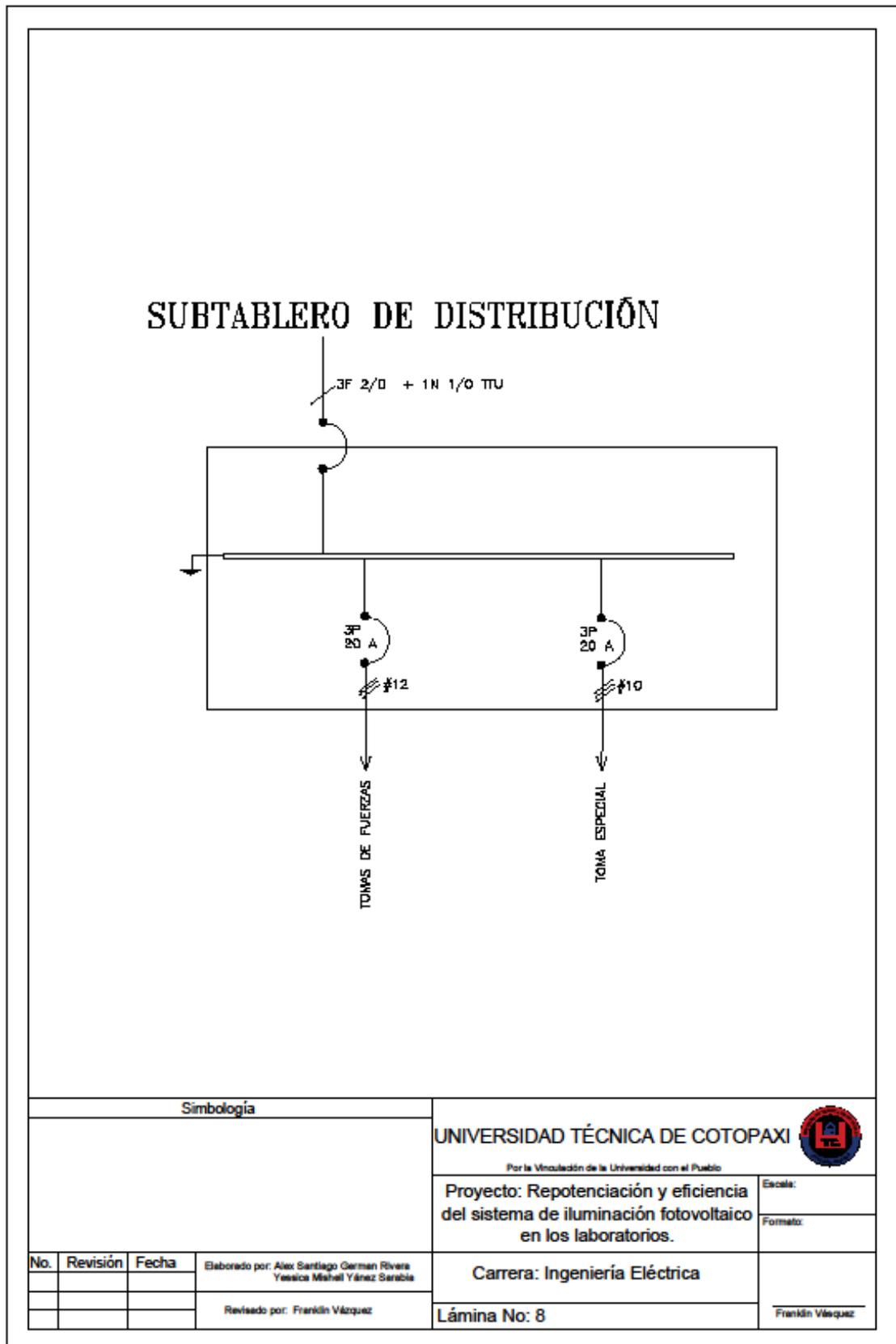


Figura I. 1. Esquema de conexión de tomacorrientes.



**Figura I. 2.** Diagrama unifilar de tomacorrientes.