



**Universidad
Técnica de
Cotopaxi**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“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”**

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico
en Sistemas Eléctricos de Potencia

Autor:

Jiménez Jiménez Diego David

Tutor:

Msc. Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

Latacunga - Ecuador

Julio 2019



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Diego David Jiménez Jiménez** declaro ser autor del presente proyecto de investigación, ***“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”***, siendo el Msc. Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Diego David Jiménez Jiménez

C.I.: 210057951-1



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

“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”

Del Sr. **Diego David Jiménez Jiménez**, 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 Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio, 2019

El Tutor

Msc. Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

C.I: 050265642-4



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 (CIYA); por cuanto, el postulante **Diego David Jiménez Jiménez** con el título de Proyecto de Titulación: ***“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”*** ha 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, Julio, 2019

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

MSc. Jimmy Toaza Iza

CC: 171762106-2

Lector 2

PhD. Secundino Marrero Ramírez

CC: 175710790-7

Lector 3

MSc. Carlos Pacheco Mena

CC: 050307290-2

AGRADECIMIENTO

Como persona devota de las bendiciones de un ser divino, agradezco a Dios por mantenerme firme y darme la sabiduría necesaria para afrontar este reto que fue mi carrera como ingeniero eléctrico.

Igualmente expreso un especial agradecimiento a mis padres, Lola Mercedes Jiménez Abad y Manuel Adán Jiménez Flores, que con su ejemplo, educación y amor incondicional supieron guiarme por el camino correcto.

A mis hermanos, Richard, Darwin, Julio, Patricio y Byron, que gracias a su ayuda y consejos me permitieron alcanzar la meta más importante de mi vida. De igual manera le agradezco a mi novia Juleidy Aponte por ser ese soporte en cada momento difícil de lucha y superación.

Al Msc. Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado por su amistad, tiempo, apoyo y colaboración al necesitar una guía durante el desarrollo del trabajo de investigación.

En general, agradezco a todos y cada uno de los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi que en su momento supieron brindarme su ayuda y conocimientos.

Diego David

DEDICATORIA

Es un privilegio dedicar este trabajo escrito de investigación a la persona que fue y será la más importante en mi vida, mi mamá, Lola Mercedes Jiménez Abad, que pese a las adversidades siempre veló por mi bienestar con un amor incondicional y eterno, impulsándome a ser cada día una persona de bien y con la fortaleza necesaria para cumplir las metas propuestas.

Diego David

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
AVAL DE TRADUCCIÓN	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	4
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	5
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	6
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	6
5.1 Situación Problemática.....	6
5.2 Formulación del Problema	7
6. OBJETIVOS	7
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	8
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	9
8.1 Antecedentes de la Investigación	9
8.2 Marco Teórico	10
8.2.1 Sistema de Iluminación	11
8.2.2 Definición y Conceptos Básicos de Iluminación	11
8.2.3 Sistema de Alumbrado Exterior	14
8.2.4 Tecnologías de Iluminación	15
8.2.5 Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA).....	16
8.2.6 Método Punto por Punto para Alumbrado de Exteriores	17
8.2.7 Generalidades de la Energía Solar Fotovoltaica.....	17
8.2.8 Sistema Fotovoltaico Autónomo o Aislado de la Red	19
8.2.9 Elementos de un Sistema Fotovoltaico Autónomo	20
8.2.10 Metodología para el Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.....	23
9. HIPÓTESIS.....	34
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	35
10.1 Tipo de Investigación.....	35
10.1.1 Investigación Bibliográfica	35

10.1.2 Investigación Descriptiva.....	35
10.1.3 Investigación de Campo.....	36
10.2 Métodos de Investigación.....	36
10.2.1 Método Inductivo.....	36
10.2.2 Método Deductivo.....	36
10.2.3 Método Analítico.....	36
10.2.4 Método Descriptivo.....	36
10.3 Instrumentos.....	37
10.3.1 Luxómetro.....	37
10.3.2 Programa Dialux evo.....	37
10.3.3 Programa AutoCAD.....	37
10.4 Técnicas.....	37
10.4.1 Simulación.....	37
10.4.2 La Observación.....	37
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	38
11.1 Generalidades de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	38
11.2 Análisis Técnico del Sistema Actual de Iluminación en el Estacionamiento N° 1.....	38
11.2.1 Estacionamiento N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	39
11.3 Propuesta de alumbrado LED para el estacionamiento N° 1 de la U.T.C.....	50
11.3.1 Características principales de las luminarias.....	50
11.3.2 Diseño del sistema de iluminación LED mediante el software Dialux evo.....	50
11.3.3 Densidad de potencia eléctrica (DPEA) del estacionamiento N° 1 con luminarias LED.....	56
11.4 Propuesta de alumbrado mediante lámparas de vapor de sodio de alta presión para el estacionamiento N° 1 de la U.T.C.....	57
11.4.1 Características principales de las luminarias.....	57
11.4.2 Diseño del sistema de iluminación convencional mediante el software Dialux evo.....	57
11.4.3 Densidad de potencia eléctrica (DPEA) del estacionamiento N° 1 con luminarias de vapor de sodio en alta presión.....	58
11.5 Características técnicas entre luminarias de vapor de sodio en alta presión y luminarias LED....	59
11.6 Cálculo del sistema fotovoltaico autónomo para el abastecimiento del sistema de alumbrado LED del estacionamiento N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi.....	60
11.6.1 Propuesta para energizar el sistema de alumbrado mediante energía fotovoltaica.....	60
11.7 Diseño de un sistema de alumbrado LED solar.....	80
11.7.1 Dimensionamiento del generador solar para las luminarias ubicadas en el acceso al estacionamiento.....	80
11.7.2 Dimensionamiento del generador solar para las luminarias ubicadas en franjas de circulación y plazas de estacionamiento.....	84
11.7.3 Listado de la totalidad de los equipos necesarios para energizar el sistema de alumbrado LED.....	88

11.7.4 Cálculo de los conductores y caídas de tensión del sistema de luminarias ubicadas en el acceso al estacionamiento.....	88
11.7.5 Aparatos de maniobra y protección para el sistema de luminarias ubicadas en el acceso al estacionamiento.....	89
12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	90
12.1 Impacto Técnico.....	91
12.2 Impacto Social.....	91
12.3 Impacto Ambiental.....	91
12.4 Impacto Económico.....	91
13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO.....	91
13.1 Análisis técnico - económico entre lámparas LED y vapor de sodio en alta presión.....	91
13.2 Análisis técnico - económico entre el sistema de alumbrado LED mediante energía fotovoltaica y un sistema de iluminación LED solar	95
13.3 Rentabilidad del sistema fotovoltaico autónomo concentrado.....	97
13.4 Estimación de costo mínimo del kWh para la rentabilidad del proyecto.....	102
13.5 Validación de la Hipótesis.....	103
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
14.1 Conclusiones	104
14.2 Recomendaciones.....	105
15. BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	8
Tabla 2. Pérdidas máximas aceptas en los balastos para lámparas de sodio de descarga de alta intensidad.....	16
Tabla 3. Intensidades admisibles en conductores de los diversos métodos de instalación.....	32
Tabla 4. Variable Independiente.....	34
Tabla 5. Variable Dependiente	35
Tabla 6. Resultados de los niveles de iluminación en la sección A	40
Tabla 7. Resultados de los niveles de iluminación en la sección B.....	42
Tabla 8. Resultados de los niveles de iluminación en la sección C.....	43
Tabla 9. Resultados de los niveles de iluminación en la sección D	45
Tabla 10. Resultados de los niveles de iluminación en la sección E.....	46
Tabla 11. Iluminación media por sección.....	48
Tabla 12. Datos de las luminarias LED	50
Tabla 13. Resultados sección A.....	52
Tabla 14. Resultados sección B	53
Tabla 15. Resultados sección C.....	54
Tabla 16. Resultados sección D.....	55
Tabla 17. Resultados sección E.....	56
Tabla 18. Datos de las luminarias de vapor de sodio a alta presión	57
Tabla 19. Resultados de los criterios de calidad en las cinco secciones del estacionamiento.....	58
Tabla 20. Comparación del sistema de iluminación con luminarias LED y vapor de sodio en alta presión.....	59
Tabla 21. Inventario de consumos eléctricos.....	60
Tabla 22. Voltaje nominal del sistema de acumulación en función de la potencia.....	60
Tabla 23. Insolación global en la ubicación de la Universidad Técnica de Cotopaxi	61
Tabla 24. Hoja de datos del panel solar	63
Tabla 25. Datos para el cálculo del banco de baterías	64
Tabla 26. Especificaciones técnicas de la batería.....	65
Tabla 27. Especificaciones técnicas controlador de carga.....	66
Tabla 28. Especificaciones técnicas inversor	67
Tabla 29. Datos técnicos del proyecto.....	67
Tabla 30. Secciones de los conductores por caída de tensión y calentamiento.....	74
Tabla 31. Inventario de consumos eléctricos.....	80
Tabla 32. Hoja de datos del panel solar	81
Tabla 33. Especificaciones técnicas de la batería.....	83
Tabla 34. Especificaciones técnicas controlador de carga.....	84
Tabla 35. Equipos seleccionados en el diseño.....	84
Tabla 36. Inventario de consumos eléctricos.....	84
Tabla 37. Especificaciones técnicas de la batería.....	86
Tabla 38. Especificaciones técnicas controlador de carga.....	87
Tabla 39. Equipos seleccionados en el diseño.....	87
Tabla 40. Listado de la totalidad de equipos seleccionados	88
Tabla 41. Inversión inicial del sistema de alumbrado LED.....	92
Tabla 42. Inversión inicial del sistema de alumbrado convencional mediante lámparas de sodio de alta presión	92

Tabla 43. Depreciación en línea recta.....	93
Tabla 44. Inversión inicial a 23 años del sistema de alumbrado convencional mediante lámparas de sodio de alta presión	94
Tabla 45. Inversión inicial del sistema de alumbrado LED a través de energía fotovoltaica..	95
Tabla 46. Inversión inicial del sistema de alumbrado LED solar	96
Tabla 47. Inversión inicial del sistema fotovoltaico concentrado	97
Tabla 48. Facturación anual de energía eléctrica.....	98
Tabla 49. Ingresos anuales.....	98
Tabla 50. Estimación del valor de la hora diaria y del día laboral	99
Tabla 51. Hoja de tiempo para mantenimiento preventivo.....	99
Tabla 52. Egresos anuales.....	99
Tabla 53. Flujo neto de efectivo	100
Tabla 54. Rentabilidad del proyecto	100
Tabla 55. Facturación anual de energía eléctrica.....	100
Tabla 56. Ingresos anuales.....	101
Tabla 57. Flujo neto de efectivo	101
Tabla 58. Rentabilidad del proyecto	101
Tabla 59. Período de recuperación de la inversión.....	102
Tabla 60. Niveles actuales de iluminación y según el diseño en el software Dialux evo	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Flujo luminoso	11
Fig. 2. Iluminación	11
Fig. 3. Intensidad luminosa	12
Fig. 4. Luminancia	12
Fig. 5. Eficiencia luminosa.....	13
Fig. 6. Curva Isolux	14
Fig. 7. Dimensiones comunes para ubicación de luminarias	15
Fig. 8. Partes de una lámpara LED.....	16
Fig. 9. Ángulo de acimut(α) de un módulo fotovoltaico.....	18
Fig. 10. Ángulo de inclinación(β) de un módulo fotovoltaico	19
Fig. 11. Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada	19
Fig. 12. Célula de silicio monocristalino.....	20
Fig. 13. Célula de silicio policristalino	20
Fig. 14. Célula de silicio amorfo	21
Fig. 15. Acumulador eléctrico.....	22
Fig. 16. Regulador de carga.....	22
Fig. 17. Inversor	23
Fig. 18. Pérdidas de energía en un generador fotovoltaico aislado de la red eléctrica.....	24
Fig. 19. Tramos de línea en un sistema fotovoltaico aislado sin considerar los dispositivos de protección	29
Fig. 20. Trayectorias de la intensidad de corriente durante el funcionamiento del generador fotovoltaico.....	30
Fig. 21. Tipos de instalación. a) Método B1. b) Método D. c) Método E	31
Fig. 22. Dispositivos de maniobra y protección del sistema fotovoltaico.....	33
Fig. 23. Ubicación geográfica de la Universidad Técnica de Cotopaxi	38
Fig. 24. Estacionamiento N° 1	39
Fig. 25. Divisiones del estacionamiento N° 1	40
Fig. 26. Puntos de medición, sección A	41
Fig. 27. Puntos de medición, sección B	42
Fig. 28. Puntos de medición, sección C	44
Fig. 29. Puntos de medición, sección D	45
Fig. 30. Puntos de medición, sección E.....	47
Fig. 31. Luminaria fuera de servicio	48
Fig. 32. Estado actual de los niveles de iluminación del parqueadero, a) Acceso, b) Extremo izquierdo del estacionamiento, c) Extremo derecho del estacionamiento.....	49
Fig. 33. Estacionamiento N° 1 de la U.T.C.....	51
Fig. 34. Isolíneas [lx], a) Acceso, b) Plazas de estacionamiento extremo derecho, c) Plazas de estacionamiento extremo izquierdo, d) Franja de circulación.....	52
Fig. 35. Isolíneas [lx], a) Franja de circulación, b) Plazas de estacionamiento extremo izquierdo, c) Plazas de estacionamiento extremo derecho	53
Fig. 36. Isolíneas [lx], a) Franja de circulación, b) Plazas de estacionamiento extremo izquierdo, c) Plazas de estacionamiento extremo derecho	54
Fig. 37. Isolíneas [lx], a) Franja de circulación, b) Plazas de estacionamiento extremo derecho	55

Fig. 38. Isolíneas [lx], a) Franja de circulación 1, b) Franja de circulación 2, c) Plazas de estacionamiento buses	56
Fig. 39. Ángulo de acimut (α)	62
Fig. 40. Ángulo de inclinación (β)	62
Fig. 41. Conexión serie-paralelo de los paneles solares.....	68
Fig. 42. Conexión serie-paralelo del sistema de acumulación	68
Fig. 43. Conexión en paralelo de los reguladores de carga.....	69
Fig. 44. Esquema unifilar con las longitudes por tramo.....	70
Fig. 45. Denominación de las cargas.....	77
Fig. 46. Longitudes del circuito de iluminación 1	78

ÍNDICE DE ECUACIONES

(1).....	17
(2).....	17
(3).....	23
(4).....	23
(5).....	24
(6).....	25
(7).....	25
(8).....	26
(9).....	26
(10).....	26
(11).....	26
(12).....	26
(13).....	26
(14).....	27
(15).....	27
(16).....	27
(17).....	28
(18).....	31
(19).....	102
(20).....	102
(21).....	103



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “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”

Autor: Diego David Jiménez Jiménez

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se efectuó el diseño y análisis de un sistema de iluminación exterior mediante tecnología LED, el cual es energizado por medio de generación fotovoltaica concentrada. Considerando que, en el estacionamiento se cuenta con una iluminación media inferior a los niveles permitidos, se propuso la mejora del alumbrado a través del software Dialux evo, obteniendo de este diseño los siguientes resultados: 518 lx para el acceso, 132,83 lx en la franja de circulación y 113,75 lx en plazas de estacionamiento, acordes a la normativa NTE INEN 2248, cuya densidad de potencia eléctrica para alumbrado es de 1,88 W/m². Mediante una investigación bibliográfica se recopiló los datos técnicos de las luminarias LED de 245 W y 134 W, con un eficiencia luminosa de 145 lm/W y 146 lm/W respectivamente. Además, el sistema fotovoltaico está conformado por 28 paneles monocristalinos de 360 W/24 V, el sistema de acumulación constará de 28 baterías de descarga profunda a 240 Ah/12 V, dos reguladores de carga PWM de 110 A/48 V y el inversor de 5000 VA/48 V. Con un nuevo valor para el kWh de USD 0,6812 se logra tener un VAN de \$ 66.525,60 y el TIR igual a 25,35 %, indicando que el proyecto resulta rentable. En conclusión mediante la tecnología LED se obtiene un sistema de iluminación eficiente que conjuntamente con el sistema fotovoltaico se contribuye al cuidado del medio ambiente.

Palabras claves: Batería, densidad de potencia eléctrica, generación fotovoltaica concentrada, inversor, panel monocristalino, regulador, tecnología LED, TIR y VAN.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF SCIENCES AND APPLIED ENGINEERING

THEME: "DESIGN OF A LED LIGHTING SYSTEM THROUGH PHOTOVOLTAIC ENERGY TO PROVIDE LEVELS OF LIGHTING QUALITY IN THE PARKING LOT N° 1 OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI"

Author: Diego David Jiménez Jiménez

ABSTRACT

In the present final degree project the design and analysis of a system of external illumination by means of technology LED, was carried out which is energized by means of concentrated photovoltaic generation. Considering that, in the parking lot, there is an average illumination lower than the permitted, levels, it was proposed to improve the lighting through the Dialux evo software, obtaining the following results from this design: 518 lx for access, 132,83 lx in the circulation strip and 113,75 lx in parking spaces, in accordance with the NTE INEN 2248 standard, whose electric power density for lighting is $1,88 \text{ W/m}^2$. Through a bibliographic research, the technical data of the LED luminaires of 245 W and 134 W were compiled, with a luminous efficiency of 145 lm/W and 146 lm/W respectively. In addition, the photovoltaic system consists of 28 monocrystalline panels of 360 W/24 V, the accumulation system will consist of 28 deep discharge batteries at 240 Ah/12 V, two PWM load controllers of 110 A/48 V and the inverter of 5000 VA/48 V. With a new value for the kWh of USD 0.6812 it is possible to have a VAN of \$ 66.525,60 and the TIR equal to 25,35 %, indicating that the project is profitable. In conclusion, using LED technology, an efficient lighting system is obtained, which together with the photovoltaic system, contributes to the environment care.

Keywords: Battery, electrical power density, concentrated photovoltaic generation, inverter, monocrystalline panel, regulator, LED technology, TIR and VAN.



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 del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, DIEGO DAVID JIMÉNEZ JIMÉNEZ**, cuyo título versa “**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**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, Julio del 2019

Atentamente,

.....
Lic. María Fernanda Aguaiza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050345849-9

ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FINAL

PROYECTO DE TITULACIÓN II

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

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

Fecha de inicio:

Latacunga 09 de Octubre de 2018

Fecha de finalización:

Latacunga 12 de Julio de 2019

Lugar de ejecución:

El Ejido – Eloy Alfaro – Latacunga – Cotopaxi – Zona 3 – Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Eléctrica

Proyecto de investigación vinculado:

Proyecto de la Carrera

Equipo de Trabajo:

TUTOR DE TITULACIÓN

- Msc. Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

COORDINADOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Diego David Jiménez Jiménez

Área de Conocimiento:

Ingeniería, industria y construcción

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

Sub línea de investigación:

Conversión y uso racional de la energía eléctrica

Datos Personales

Nombres: Diego David

Apellidos: Jiménez Jiménez

Lugar de nacimiento: Amaluza

Fecha de nacimiento: 10/04/1994

Edad: 24

Estado civil: Soltero

Número de cédula: 210057951-1

Teléfono: 099 328 2649

E-mail: david94am@hotmail.com

Estudios realizados:

Primaria: Unidad Educativa Francisco Javier Peñarreta

Secundaria: Colegio Nacional Técnico Shushufindi



Diego David Jiménez Jiménez

Estudiante

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Las aplicaciones para las energías renovables han ido evolucionando constantemente en las últimas décadas como una forma de generación de electricidad a base de fuentes limpias, es así que se hace uso de paneles fotovoltaicos como un medio de aprovechamiento de los recursos solares que posee el Ecuador.

Al emplear generación fotovoltaica concentrada es necesario optimizar la carga y que la misma se eficiente técnicamente, razón por la cual se hace uso de tecnología LED para iluminación exterior pues la misma ofrece mayores niveles de iluminancia con un menor consumo energético y larga vida útil, semejante a los equipos del sistema fotovoltaico.

Con la finalidad de brindar niveles de iluminación acordes a la normativa vigente que rige estos proyectos mientras se contribuye con el medio ambiente, interviene notablemente los conceptos de energías renovables como una manera de reducir las emisiones de CO₂ e iluminación LED.

Para el diseño del sistema lumínico se lo realiza por medio del software Dialux evo donde se verifica que la nueva configuración cumpla los niveles de iluminación, uniformidad y deslumbramiento, esto permitirá conocer la carga y la demanda de energía eléctrica para así dimensionar el sistema fotovoltaico aislado de la red de suministro eléctrico.

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico no se trata solamente de conocer el número de equipos a emplear, paneles solares, regulador de carga, baterías de descarga profunda e inversor, sino que por ser un sistema cuya inversión inicial es elevada se requiere disponer de una protección óptima teniendo en cuenta que dichas protecciones será exclusivamente para corriente continua.

Con el desarrollo de esta propuesta de investigación se pretende cumplir con los niveles de iluminación en el estacionamiento N° 1 de la UTC, al mismo tiempo que se promueve en la sociedad el uso de energías alternativas y el confort en los usuarios que diariamente hacen uso de esta zona.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad son pocos los países que se consolidan a nivel mundial como un referente en la producción de electricidad en base a fuentes de energía obtenidas de procesos naturales que se restauran continuamente. Con la finalidad de fomentar en la sociedad la generación eléctrica por medio de energías renovables no convencionales (ERNC), es indispensable contar con sistemas eléctricos que operen a través de energía limpia como es el sol, fuente principal de vida que se manifiesta, primordialmente, en forma de luz y calor.

Una de las formas de aprovechar las componentes de radiación solar directa y difusa emitidas por el astro más cercado a la tierra, es los sistemas fotovoltaicos, que transforman los rayos del sol en electricidad remplazando temporalmente a los combustibles fósiles como el carbón o el petróleo, mediante esta forma de generación se puede independizar o no un sistema de la red de suministro eléctrico, ayudando a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) y mitigar la necesidad del desarrollo de las fuentes convencionales.

Alcanzar el confort ha sido el impulso que ha llevado a la humanidad a la cúspide de la evolución tecnológica. Una de las necesidades para lograr la comodidad y el buen vivir es una iluminación LED alimentada por medio de energía fotovoltaica con niveles de calidad y sin producir mayores efectos negativos al medio ambiente, contribuyendo a la reducción del consumo energético.

Por consiguiente si se reduce el consumo de energía de la respectiva instalación eléctrica se minimizaran los egresos de dinero para la entidad beneficiada, sin que esto implique una desventaja para la calidad de iluminación en exteriores empleando tecnología LED, es decir, ahorro económico representa, obtener una mejor eficiencia energética y uso racional de la energía eléctrica a menor costo para el usuario.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Directos:

El diseño del presente proyecto de investigación beneficiara directamente a la institución de educación superior “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

Indirectos:

Estudiantes, personal docente y administrativo de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1 Situación Problemática

El alumbrado ha sido desde un principio la aplicación principal de la electricidad destinada a mejorar la calidad de vida, por lo tanto, una correcta implementación permite prever situaciones que causen en el usuario fatiga óptica y por consiguiente daños en su salud visual.

Actualmente, la iluminación exterior en el parqueadero N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi no cuenta con los adecuados niveles lumínicos, así pues, genera incomodidades e inseguridad en los estudiantes, personal docente y administrativo que a diario hacen uso de esta zona.

Las sensaciones o impresiones sensoriales se llevan a cabo en su mayoría de forma visual, por esto, la luz es de gran importancia para el desarrollo de una actividad específica y que la misma no se vuelva agotadora. Por otra parte, un ineficaz flujo luminoso que cubre una determinada superficie comprometería el estado de bienestar físico del individuo debido a la inseguridad, como resultado se tendría un efecto negativo en la salud y el confort humano.

La iluminación LED es una tecnología aun explorada y que ha ido evolucionando en el transcurso del tiempo, ofreciendo ventajas en cuanto a consumo, prestaciones, mantenimiento y larga vida útil con respecto a la iluminación convencional. Sin embargo esta fuente de luz artificial carece de autonomía, es decir no puede funcionar por sí misma, razón por la cual es necesario añadir un sistema de suministro de energía eléctrica. De ahí que para poder alimentar las lámparas se requiere un sistema de energía fotovoltaica por sus bajos costos de mantenimiento, vida útil larga, baja contaminación auditiva e impacto ambiental casi nulo.

5.2 Formulación del Problema

Debido a la escasa iluminación e inseguridad en el parqueadero de la Universidad Técnica de Cotopaxi es necesario diseñar un sistema de alumbrado LED alimentado por medio de energía fotovoltaica adecuado con el medio ambiente.

6. OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar 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.

ESPECÍFICOS

- Recopilar información de los sistemas de iluminación LED y fotovoltaicos mediante estudios similares a nivel general.
- Determinar los niveles de iluminación adecuados según la normativa NTE INEN 2248 mediante la utilización de tecnología LED.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a las lámparas y su valoración técnico – económica.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS
<p>Recopilar información de los sistemas de iluminación LED y fotovoltaicos mediante estudios similares a nivel general</p>	<p>Búsqueda de información sobre los sistemas de alumbrado Indagación de la tecnología empleada en iluminación artificial Estudio de textos argumentativos u obras impresas dedicadas al diseño lumínico Fundamentación de los conocimientos básicos de energía solar fotovoltaica Investigación del dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos</p>	<p>Sistema de iluminación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conceptos Básicos • Tipos de tecnología • Método para la toma de datos in situ <p>Sistema fotovoltaico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generalidades • Metodología para el dimensionamiento
<p>Determinar los niveles de iluminación adecuados según la normativa NTE INEN 2248 mediante la utilización de tecnología LED</p>	<p>Identificación de la ubicación del proyecto Medición de los niveles actuales de iluminación en el estacionamiento N° 1 de la U.T.C Verificación de los límites establecidos en la normativa Diseño del sistema de alumbrado en el software Dialux evo</p>	<p>Plano escalar de la zona a iluminar Tabla de resultados Diagnóstico del estado actual Configuración del sistema de iluminación según estándares de calidad</p>
<p>Dimensionar el sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a las lámparas y su valoración técnico – económica</p>	<p>Observación del área donde se pueda instalar los paneles fotovoltaicos Determinación de la carga instalada Cálculo del sistema fotovoltaico Análisis económico de la propuesta de investigación</p>	<p>Espacio disponible para los módulos solares Demanda de energía eléctrica que se requiere satisfacer Número de paneles instalados con su respectiva disposición, regulador de carga, banco de baterías e inversor Tabla de resultados de los flujos económicos de la institución</p>

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Antecedentes de la Investigación

En 2009, Bridgewater y Bridgewater [1] afirman que los módulos fotovoltaicos son capaces de alimentar lámparas, electrodomésticos y acoplarse a un sistema eléctrico. Pequeños paneles solares conjuntamente con un banco de baterías pueden proporcionar toda la potencia necesaria para una determinada aplicación. Para emplear corriente alterna es preciso añadir en el diseño del sistema un inversor.

En palabras de Castro y Posligua [2], desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo, la capacidad y el confort visual son importante, debido a que muchos de los accidentes se deben a deficiencias en la iluminación o a errores cometidos por el trabajador, a quien le resulta complicado identificar objetos o los riesgos asociados con la maquinaria, transporte, entre otros.

Según varias investigaciones [3], [4], [5], [6], las lámparas de inducción, vapor de sodio y mercurio en alta presión con relación a las lámparas LED su consumo energético es aún mayor, además de afectar negativamente la salud por su elevado nivel toxico. De modo que emplearon tanto, lámparas LED por su mayor rendimiento luminoso, eficiencia energética, larga vida útil y uniformidad en la distribución del flujo luminoso, como el software Dialux para verificar los cálculos realizados. Los resultados obtenidos reflejan valores de iluminancia acordes a las normativas, disminución del consumo eléctrico y energía generada por el suministrador, al igual que, la reducción del mantenimiento de las luminarias.

De acuerdo a diversos estudios [7], [8], [9], manifiestan que el uso de combustibles fósiles ha sido la principal fuente para la producción de energía eléctrica, en consecuencia, la utilización de este tipo de recurso genera los gases de efecto invernadero. Tomando en cuenta que las centrales térmicas son parte de la contaminación ambiental, propusieron la implementación de un sistema de generación en base a energía fotovoltaica, cuya ejecución evito en promedio la emisión de 14,39 toneladas de dióxido de carbono anualmente y durante el tiempo de vida útil del sistema evitará en total 359,79 toneladas de CO₂ en el ambiente.

Orellana, Quimis y Montealegre [10], en su publicación hacen referencia al diseño de un sistema fotovoltaico aislado de la red, donde concluyen que la implementación de la presente instalación resulta conveniente con respecto a las otras dos opciones de electrificación; tales como, el recorrido de la línea de media tensión y la instalación del generador a combustión interna, debido a que, la razón beneficio/costo incremental es menor a 1. De igual forma aporta

al desarrollo de zonas rurales donde resultaría bastante costosa la construcción de nuevas líneas de distribución.

Tapia y Rosales [11], definen que el Ecuador por ubicarse en la línea equinoccial la trayectoria del sol es variable con respecto a zonas ubicadas en los trópicos, razón por la cual el seguimiento solar sea hace más complejo y costoso, debido a que se requiere un sistema fotovoltaico con seguidor en dos ejes. En consecuencia un sistema fotovoltaico estático resulta beneficioso en el diseño de proyectos destinados para autoconsumo, por el sobreprecio del proyecto que surgiría de implementar un SFV con seguidor.

Actualmente para el alumbrado de diversos lugares utilizan lámparas con tecnología tipo LED que brindan mayor luminosidad pero consumiendo menor potencia, mismas que van teniendo mucho apogeo comercial a nivel global, ya que se obtiene un ahorro de energía eléctrica, dicho ahorro es mayor si el abastecimiento energético está basado en sistemas fotovoltaicos, mientras se contribuye al cuidado del medio ambiente [6], [12].

Según lo manifestado se puede concluir que la tecnología LED ofrece ventajas técnicas y reduce el impacto en la salud de los seres humanos, respecto a las lámparas de inducción, vapor de sodio o mercurio, por lo cual su utilización en iluminación se ve respaldada. En proyectos destinados para autoconsumo es ventajoso el utilizar un sistema fotovoltaico fijo debido a los gastos elevados que implica el instalar un seguidor solar. Los SFV aislados de la red son una forma de reducir los egresos de dinero que representa el implementar nuevas redes de suministro, además de contribuir en la producción de electricidad por medio de energías limpias y generar cierta autonomía del S.E.P.

Finalmente un sistema de alumbrado LED alimentado por medio de energía solar fotovoltaica mejora la eficiencia del sistema de iluminación e implica un ahorro energético considerable, a más de ser amigable con el medio ambiente; pues se reduce las emisiones de dióxido de carbono durante el tiempo de vida útil del sistema.

8.2 Marco Teórico

Para el desarrollo de la presente propuesta de investigación es importante conocer las generalidades de los sistemas iluminación y energía solar, asimismo, obtener una metodología dedicada al dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos.

8.2.1 Sistema de Iluminación

Se entiende por sistema de iluminación al conjunto de elementos que permiten mediante su funcionamiento brindar cierta cantidad de luz para iluminar un determinado sitio, y poder llevar a cabo cualquier actividad sin ninguna dificultad [4].

8.2.2 Definición y Conceptos Básicos de Iluminación

8.2.2.1 Flujo Luminoso

Es la cantidad de luz emitida por fuentes que pueden ser lámparas, reflectores, entre otras, en función del medio ambiente que las rodea, es decir, si existe o no presencia de polvo u otras sustancias que afecten directamente la emisión del mismo, su unidad de medida es el LUMEN (lm) y se simboliza por la letra ϕ . En la Fig. 1 se representa gráficamente el flujo luminoso [13].

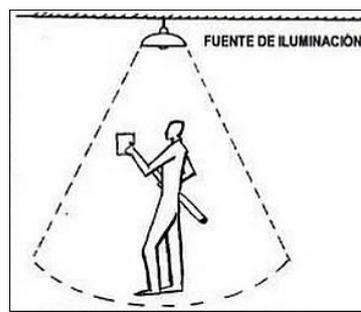


Fig. 1. Flujo luminoso

Fuente: [13]

8.2.2.2 Iluminación

La iluminación o iluminancia se define como el flujo luminoso que cubre una determinada superficie a iluminar como se indica en la Fig. 2, se denota por la letra E y su unidad de medida es el LUX (lx) [13].

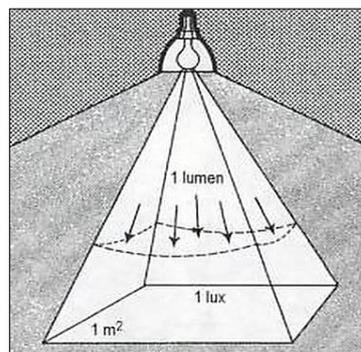


Fig. 2. Iluminación

Fuente: [13]

8.2.2.3 Intensidad Luminosa

Es el flujo luminoso emitido en el interior de un ángulo sólido equivalente a 1 estereadianes en una determinada dirección como se puede apreciar en la Fig. 3, su unidad es la candela (cd) y se representa por la letra I [13].

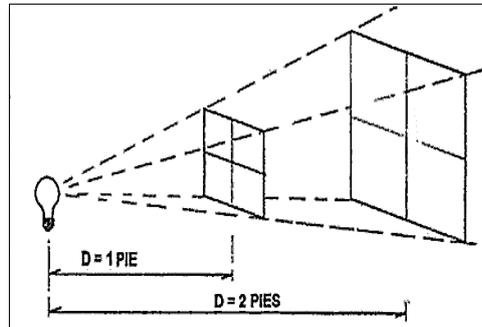


Fig. 3. Intensidad luminosa

Fuente: [13]

8.2.2.4 Luminancia

También denominada como brillantez se denota por la letra L y representa el efecto que tiene la intensidad luminosa reflejada en una superficie sobre la vista de los usuarios (ver Fig. 4). La unidad de medida empleada es candelas/m² [13].

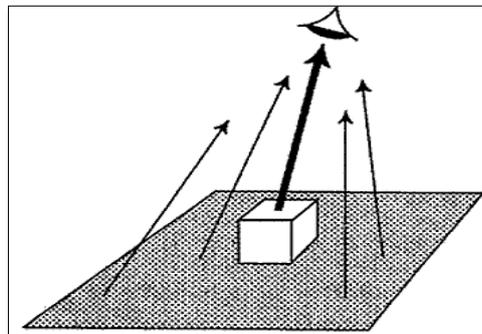


Fig. 4. Luminancia

Fuente: [13]

8.2.2.5 Eficiencia Luminosa

Como se aprecia en la Fig. 5 la eficiencia de una fuente de iluminación se puede expresar como la relación entre el flujo luminoso y la potencia activa absorbida por una lámpara, su unidad de medida es Lumen/watt (lm/W) [13].

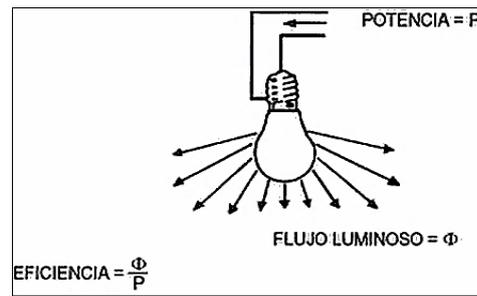


Fig. 5. Eficiencia luminosa

Fuente: [13]

8.2.2.6 Temperatura de Color

La temperatura de color muestra el color de una fuente luminosa en comparación con el color del cuerpo negro el cual proyecta una luz en función de la temperatura a la que se halle. De esta forma dicho cuerpo al sufrir incandescencia cambia de tono al incrementarse su temperatura, cambiando de un color rojo no brillante a un rojo claro, naranja, amarillo y finalmente el blanco [14].

8.2.2.7 Deslumbramiento

El deslumbramiento es aquel efecto que reduce la capacidad visual de un individuo como consecuencia del exceso de luminancia. El límite de deslumbramiento se mide dependiendo de la actividad que el usuario este realizando, si la misma es de pie, la compensación de altura es de 1,50 metros [15].

- Glare Rating (GR), denominado como índice de deslumbramiento, se lo utiliza en iluminación de exteriores como una forma de evaluar el nivel al cual se encuentra el deslumbramiento [15].

8.2.2.8 Uniformidad de Iluminancia

Indica la variación que presenta la iluminación sobre una determinada superficie o plano, y se expresa como la relación entre la iluminancia mínima y la promedio [16].

8.2.2.9 Curva Isolux

Este tipo de isolíneas unen todos aquellos puntos que dispongan del mismo nivel de iluminación en el plano horizontal y se expresa en lx, para una mejor referencia véase Fig. 6 [16].

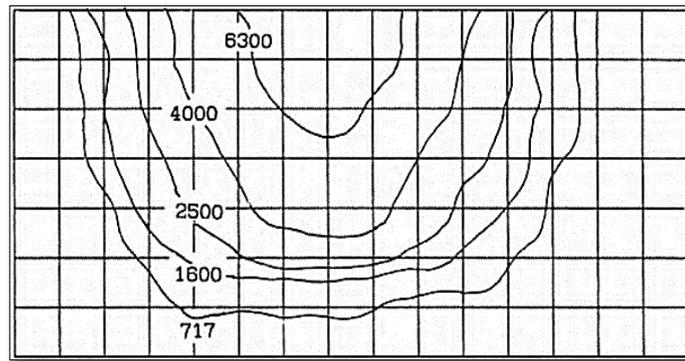


Fig. 6. Curva Isolux

Fuente: [17]

8.2.3 Sistema de Alumbrado Exterior

Hace referencia a un sistema de iluminación encargado del alumbrado de áreas exteriores ya sea de viviendas, edificios o cualquier inmueble, resaltando de esta manera su ambiente durante la noche lo que permitirá al usuario diferenciar la forma del área y diversos objetos o estructuras presentes en la misma [18].

8.2.3.1 Factor de Mantenimiento de la Luminaria

Guarda relación con la disminución de la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa, como consecuencia de la acumulación de polvo u otras sustancias sobre las luminarias y por el desgaste de las mismas. Por lo tanto se emplea este factor para asegurar que durante el servicio la iluminación media no descienda bajo el valor de diseño. Para el caso de luminarias cerradas su valor es de 0,85 y para luminarias abiertas de 0,75 [15].

8.2.3.2 Altura de Montaje de las Luminarias

Distancia en metros que existe desde la superficie del estacionamiento hasta el punto centro de una luminaria, se considera apropiada una altura de montaje en el rango de 7,5 m a 10,5 m; para luminarias de muy alta potencia luminosa se recomienda 12 m o superior [15].

8.2.3.3 Saliente de las Luminarias

Para garantizar una mayor uniformidad de luminancia el saliente no debe exceder un cuarto de la altura de montaje, puesto que al superar esta distancia se reduce la visibilidad de los bordillos o de los objetos en el lado de la acera [15].

En la Fig. 7 se presenta una ilustración donde se puede apreciar claramente las definiciones descritas en este apartado.

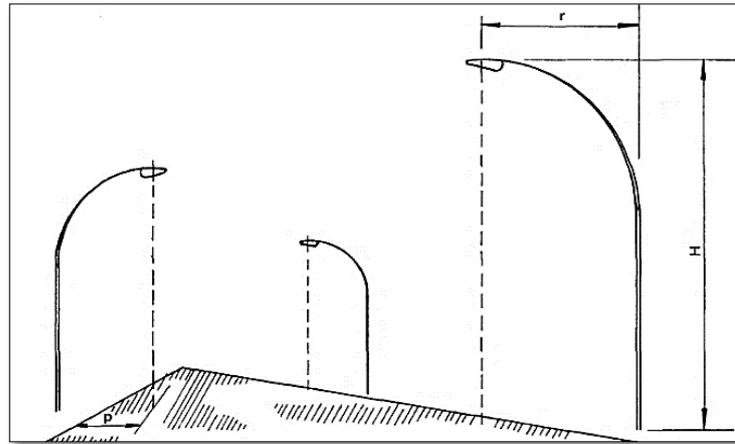


Fig. 7. Dimensiones comunes para ubicación de luminarias

Fuente: [15]

donde

H: altura de montaje

p: saliente

r: extensión o brazo de soporte

8.2.4 Tecnologías de Iluminación

8.2.4.1 Lámparas de Vapor de Sodio de Alta Presión

Estas lámparas ofrecen una mayor eficiencia que las de mercurio aproximadamente más de 100 lúmenes/vatio. La naturaleza reactiva del sodio requiere que el tubo de descarga de arco se construya de alúmina policristalina translúcida, ya que el vidrio o el cuarzo son inadecuados. El globo de vidrio exterior contiene un vacío para evitar el chisporroteo y la oxidación. La descarga de sodio no emite radiación ultravioleta, por lo que los revestimientos fosfóricos no tienen ninguna utilidad [19].

- **Balasto**

Unidad insertada en lámparas de descarga para limitar la corriente de este equipo hasta un valor específico. Además se lo emplea en la corrección del factor de potencia a un mínimo de 0,9 para balastos del tipo reactor y en la reducción del efecto estroboscópico, en la tabla 2 se presenta las máximas pérdidas permitidas [16].

Tabla 2. Pérdidas máximas aceptas en los balastos para lámparas de sodio de descarga de alta intensidad

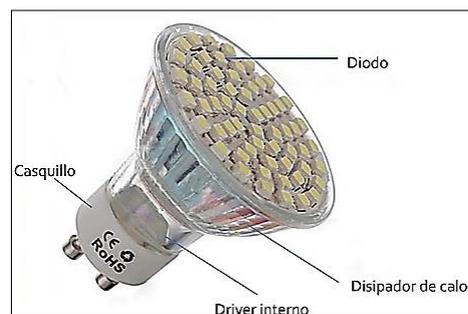
Lámpara de sodio (W)	Pérdidas máximas balastos reactor (W)	Pérdidas máximas balastos CWA (W)
70	11	
100	15	
150	19	40
250	29	45
400	40	70
1000	100	119

Fuente: [16]

8.2.4.2 Lámparas Light-Emitting Diode (LED)

Las lámparas LED para poder tener una intensidad luminosa igual a las lámparas convencionales disponen de varios grupos de diodos emisores de luz. Su principal ventaja es su ahorro energético de un 92 % respecto a las bombillas convencionales incandescentes y un 30 % respecto a las fluorescentes, su extensa vida útil, rápida respuesta de encendido y apagado, además de ser amigable con el medio ambiente pues no posee ningún elemento contaminante. Esta tecnología es novedosa y presume de ser una tecnología de bajo consumo [14], [20].

Para energizar el led se requiere de un driver el cual transforma la corriente alterna a continua, adaptando la tensión de salida a las necesidades del led y así mantener constante la intensidad, disminuyendo la generación de calor [20]. Las principales partes de una luminaria led se muestran en la Fig. 8:

**Fig. 8.** Partes de una lámpara LED

Fuente: [21]

8.2.5 Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)

Un sistema de iluminación exterior independientemente del tipo de lámpara empleada deberá ser eficiente con un consumo racional de energía, para evaluar dicho aspecto interviene el concepto de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). El cálculo de la DPEA se

realiza a partir de la carga total conectada para alumbrado expresada en vatios y del área total por iluminar en metros cuadrados [16].

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

8.2.6 Método Punto por Punto para Alumbrado de Exteriores

Para la aplicación de este método se requiere saber con exactitud la posición en el espacio de la superficie a iluminar, es decir, con este procedimiento lo que se pretende conocer es el nivel de iluminación en uno o varios puntos del plano horizontal. De manera que, se subdivide la superficie en rectángulos iguales de áreas suficientemente pequeñas para que se pueda considerar que la iluminación no varía significativamente en el interior de estas superficies, y así calcular la iluminancia media expresada en lux mediante la ecuación 2 [22].

$$E_m = \frac{\sum E_i}{n} [lx] \quad (2)$$

donde

E_m : iluminación media

E_i : iluminación en cada punto sobre el plano horizontal

n : número total de puntos a evaluar

8.2.7 Generalidades de la Energía Solar Fotovoltaica

8.2.7.1 Radiación Solar

La radiación solar es aquel flujo de energía proveniente del sol en forma de ondas electromagnéticas de varias frecuencias como luz visible, infrarrojo y ultravioleta. De acuerdo a la forma que inciden los rayos solares en la superficie terrestre se puede clasificar la radiación en [24]:

- **Directa**

Es la recibida directamente del sol sin que se altere su dirección.

- **Difusa**

Aquella que sufre desviaciones en su dirección debido a que es reflejada o absorbida por las nubes.

- **Albedo**

Radiación directa o difusa reflejada principalmente por la superficie terrestre.

La radiación total o global es aquella compuesta por los tres tipos antes mencionados, para los proyectos fotovoltaicos se considera simplemente la radiación directa y difusa, por el contrario la albedo por su difícil cuantificación no es estimada [24].

8.2.7.2 Irradiancia

Es la potencia incidente en una determinada área e indica la intensidad de la radiación solar, su unidad de medida es W/m^2 [25].

8.2.7.3 Irradiación

Es la energía constituida por la sumatoria de las irradiancias en un intervalo de tiempo específico que por lo general es una hora o día, se mide en kWh/m^2 [25].

8.2.7.4 Ángulo de Acimut (α)

Denominado también como azimut es el ángulo que mide la desviación de la perpendicular a la superficie del módulo fotovoltaico respecto a la dirección del norte geográfico y en sentido horario; en la Fig. 9 se indica gráficamente el ángulo de acimut [26].

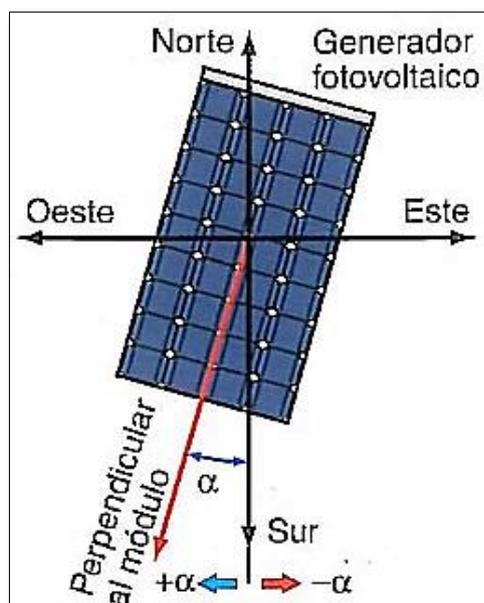


Fig. 9. Ángulo de acimut (α) de un módulo fotovoltaico

Fuente: [25]

8.2.7.5 Ángulo de Inclinación (β)

Ángulo que forma la superficie del panel fotovoltaico con el plano horizontal, con un valor de 90° si el módulo se coloca verticalmente; en la Fig. 10 se indica gráficamente el ángulo de inclinación [26].

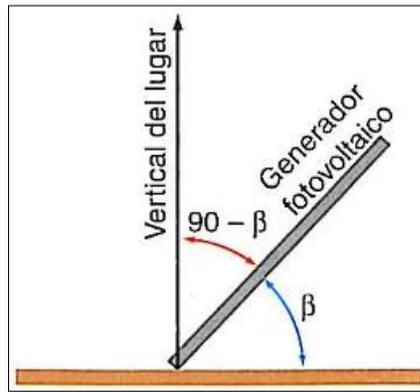


Fig. 10. Ángulo de inclinación (β) de un módulo fotovoltaico

Fuente: [25]

8.2.8 Sistema Fotovoltaico Autónomo o Aislado de la Red

Los sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados de la red de suministro eléctrico están compuestos por elementos interconectados entre sí con la finalidad de suministrar energía eléctrica a sistemas de iluminación, viviendas, equipos eléctricos etc. En la Fig. 11 se indica estos elementos. Debido a que el precio del kWh de un generador fotovoltaico es más elevado, en comparación con el de la red eléctrica, se requiere una optimización del consumo energético de las cargas [27].

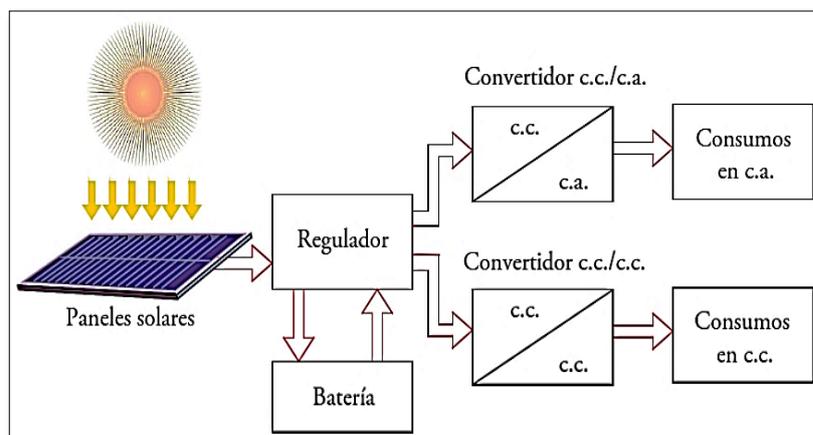


Fig. 11. Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada

Fuente: [26]

8.2.9 Elementos de un Sistema Fotovoltaico Autónomo

8.2.9.1 Paneles Solares

Los módulos FV (PV en inglés) están constituidos por células o celdas solares que son las encargadas de llevar a cabo el efecto fotovoltaico y así convertir la energía proveniente del sol en electricidad, que de acuerdo a la ubicación de los átomos de silicio se presenta tres tipos de células solares [27].

- **Células Solares de Silicio Monocristalino**

La celda o célula solar en este caso está constituida en su totalidad por un único cristal de silicio. Es el tipo de celdas cuya utilización comercial está más ampliamente extendida hoy en día debido a su alta eficiencia en un rango del 15 % al 18 %; en la Fig. 12 se aprecia su aspecto [28].

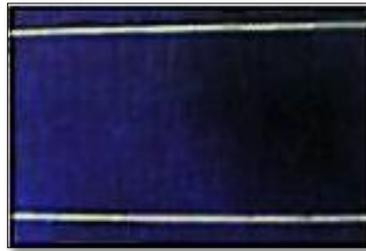


Fig. 12. Célula de silicio monocristalino

Fuente: [25]

- **Células Solares de Silicio Policristalino**

A diferencia de las células monocristalinas, estas se encuentran constituidas por granos de silicio cristalino y su utilización en módulos solares constituye una estrategia de reducción de precios, mediante la disminución del coste de las obleas al igual que su eficiencia (del 12 % al 14 %); en la Fig. 13 se aprecia su aspecto [28].

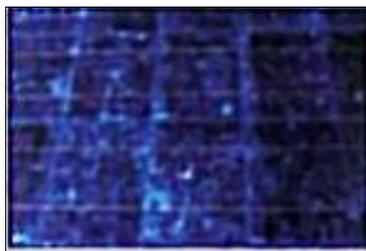


Fig. 13. Célula de silicio policristalino

Fuente: [25]

- **Células de Silicio Amorfo**

Las células de silicio amorfo no poseen el ordenamiento de los átomos de silicio en forma de red cristalina. Por lo tanto, este material no tendría ninguna propiedad semiconductor, pero, es necesario indicar que cuando en el contexto de las celdas se habla de silicio amorfo, se debe pensar que una cantidad de hidrógeno se ha asociado al material y su eficiencia es sumamente baja comprendida entre el 6 % al 9 %; en la Fig. 14 se aprecia su aspecto [28].



Fig. 14. Célula de silicio amorfo

Fuente: [25]

8.2.9.2 Elementos acumuladores de energía

El acumulador eléctrico o batería es el encargado de almacenar la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico durante las horas de radiación solar y así aprovecharla en horas de baja o nula insolación, previo a su implementación en instalaciones fotovoltaicas es necesario que se conozca los siguientes términos [27]:

- **Capacidad**

Cantidad de corriente eléctrica que se puede obtener a través de la descarga total de un acumulador que inicialmente se encontraba cargado a su punto máximo. Su unidad de medida son los Amperios-hora (Ah) [27].

- **Profundidad de descarga**

Valor obtenido de una batería cargada en su totalidad durante una descarga y se mide en porcentaje. Es decir, si se dispone de una batería de 240 Ah y se la somete a una descarga de 180 Ah, esto representa una profundidad de descarga del 75 %, admitiendo hasta un máximo del 80 % (descarga profunda) para que su capacidad de carga no se vea afectada [27]. En la Fig. 15 se presenta un acumulador de descarga profunda típico.

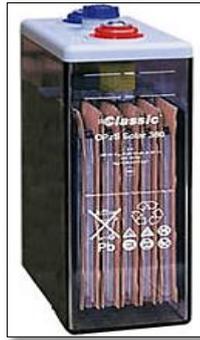


Fig. 15. Acumulador eléctrico

Fuente: [26]

8.2.9.3 Regulador de Carga

Su función principal es la de controlar el estado de carga del acumulador eléctrico, evitando la descarga de la batería por debajo del nivel mínimo, al igual que la sobrecarga por arriba de la carga nominal. Otra característica de estos equipos es la de impedir el paso de la corriente por parte del generador fotovoltaico a la batería una vez que se ha cargado totalmente [27].

- **Regulador PWM**

En la fase de mantenimiento de carga profunda (MCP) y en la etapa de flotación emplea el método de modulación por anchura de pulsos (PWM), el cual permite variar de manera gradual la corriente de carga del acumulador eléctrico modificando la amplitud de los pulsos del voltaje aplicado al acumulador [25]. En la Fig. 16 se presenta un regulador de carga.



Fig. 16. Regulador de carga

Fuente: [29]

8.2.9.4 Convertidores

Como su nombre lo indica los convertidores o inversores son dispositivos encargados de transformar la corriente continua a corriente alterna (generador-receptor), en la Fig. 17 se puede visualizar un inversor para celda fotovoltaica [26]:



Fig. 17. Inversor

Fuente: [5]

8.2.10 Metodología para el Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

8.2.10.1 Cálculo de la Irradiación Global Diaria sobre la Superficie del Generador

Para determinar la inclinación óptima, al buscar la máxima captación de energía solar a lo largo del año, se emplea la ecuación 3 [25].

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

donde

β_{opt} : ángulo de inclinación óptima (grados)

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

La constante K indica la relación entre el valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano horizontal $G_{dm}(0)$ y el mismo valor para un plano inclinado en un ángulo óptimo $G_{dm}(0, \beta_{opt})$. Si el período de diseño es en el mes de diciembre esta constante tendrá un valor de 1,7 y en julio será de 1 [25].

En el caso en el cual no sea posible inclinar el sistema fotovoltaico de acuerdo a la inclinación óptima, se deberá aplicar un coeficiente de reducción de la energía denominado como factor de irradiación (FI) mediante la siguiente expresión [25].

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

donde

FI : factor de irradiación (sin unidades)

β : inclinación real de la superficie (°)

β_{opt} : inclinación óptima de la superficie ($^{\circ}$)

Si el lugar donde se pretenda instalar el sistema fotovoltaico existe presencia de sombras que puedan afectar al funcionamiento del generador se aplica un factor de sombreado FS , para indicar el porcentaje de radiación incidente sobre el generador respecto al caso de ausencia total de sombras [25].

Mediante la ecuación 5 se puede determinar el valor medio mensual de irradiación diaria sobre la superficie del generador [25].

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \times K \times FI \times FS \quad [Wh / m^2] \quad (5)$$

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)

8.2.10.2 Cálculo de los Parámetros Eléctricos del Generador

Para calcular la potencia del sistema fotovoltaico se debe considerar que una parte de la energía eléctrica que va a generar se queda en la trayectoria hasta llegar a los receptores como se aprecia en la Fig. 18 [25].

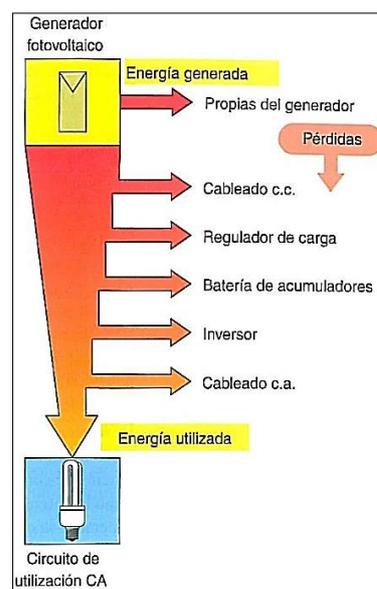


Fig. 18. Pérdidas de energía en un generador fotovoltaico aislado de la red eléctrica

Fuente: [25]

Estas pérdidas se agrupa en un único coeficiente que recoge el rendimiento energético de la instalación denominado *PR* (Performance Ratio). Si el sistema fotovoltaico autónomo dispone de inversor, batería y regulador de carga su valor será de 0,6, en el caso de un sistema con batería y regulador de carga equivaldrá a 0,7 [25].

El valor mínimo de potencia del generador fotovoltaico $P_{G \min}$ se calcula mediante la siguiente expresión [25]:

$$P_{G \min} = \frac{W_d \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR} \quad (6)$$

donde

$P_{G \min}$: potencia del generador (W)

G_{CEM} : irradiancia en condiciones CEM (constante de valor 1000 W/m²)

W_d : consumo de energía diario (Wh)

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: valor medio mensual de irradiación diaria sobre la superficie del generador (Wh/m²)

PR : rendimiento energético de la instalaciones. Expresado en tanto por uno

En un sistema de acumulación de tensión nominal 12 V, se requiere de un módulo fotovoltaico de 36 células. Además, para un banco de baterías de 48 V se necesita conectar en serie dos paneles solares de 72 células [25].

Con estos datos se procede a calcular el número de módulos y los parámetros eléctricos del generador mediante las siguientes ecuaciones [25]:

- Número de módulos:

$$N_p \times N_s \geq \frac{P_{G \min}}{P_{\max}} \quad (7)$$

donde

N_p : número de paneles en paralelo (unidad)

N_s : número de paneles en serie (unidad)

$P_{G \min}$: potencia del generador (W)

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

- Potencia total del generador:

$$P_{G \text{ máx}} = N_p \times P_{\text{máx}} \times N_s \text{ [W]} \quad (8)$$

- Tensión de circuito abierto del generador:

$$U_{G \text{ oc}} = N_s \times U_{\text{oc}} \text{ [V]} \quad (9)$$

- Intensidad de cortocircuito del generador:

$$I_{G \text{ sc}} = N_p \times I_{\text{sc}} \text{ [A]} \quad (10)$$

- Tensión máxima del generador:

$$U_{G \text{ mpp}} = N_s \times U_{\text{mpp}} \text{ [V]} \quad (11)$$

- Intensidad máxima del generador:

$$I_{G \text{ mpp}} = N_p \times I_{\text{mpp}} \text{ [A]} \quad (12)$$

donde

U_{oc} : Tensión de Circuito Abierto (V)

I_{sc} : Corriente en Cortocircuito (A)

U_{mpp} : Tensión Punto de Máxima Potencia (V)

I_{mpp} : Corriente Punto de Máxima Potencia (A)

8.2.10.3 Dimensionado del Banco de Baterías

La capacidad del sistema de acumulación se calcula a partir del consumo medio diario, por lo cual se determina primeramente este valor [25].

$$Q_d = \frac{W_d}{U_n} \quad (13)$$

donde

Q_d : consumo medio diario (Ah/día)

W_d : energía media diaria (Wh/día)

U_n : tensión nominal del sistema de acumulación (V)

Por consiguiente, la capacidad total del sistema de acumulación se calcula mediante la siguiente expresión [25].

$$C_n = \frac{Q_d \times A}{PD_{m\acute{a}x} \times \eta_{inv} \times \eta_{rb}} \quad (14)$$

donde

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

A: días de autonomía del sistema (días)

$PD_{m\acute{a}x}$: profundidad de descarga máxima. En tanto por uno

η_{inv} : rendimiento del inversor del 85 %. En tanto por uno

η_{rb} : rendimiento del conjunto de batería y regulador de carga del 80 %. En tanto por uno

Si se requiere conectar elementos acumuladores en serie o paralelo se emplea las siguientes expresiones [25].

$$N_{bs} = \frac{U_n}{U_b} \quad (15)$$

$$N_{bp} = \frac{C_n}{C_b} \quad (16)$$

donde

U_n : tensión nominal del sistema de acumulación (V)

U_b : tensión de un elemento acumulador (V)

N_{bs} : número de elementos en serie

C_n : capacidad nominal del sistema de acumulación (Ah)

C_b : capacidad de un elemento acumulador (Ah)

N_{bp} : número de elementos en paralelo

8.2.10.4 Dimensionado del Regulador de Carga

La tensión nominal del regulador de carga deberá ser igual a la designada para el banco de baterías. La intensidad nominal I_R es el valor de la intensidad de cortocircuito del sistema fotovoltaico $I_{G_{sc}}$, considerando un factor de seguridad de 1,25 [25].

Se deberá verificar que la tensión máxima en la entrada U_R no sea inferior a la tensión máxima de circuito abierto del generador fotovoltaico $U_{G_{oc}}$, a la temperatura más desfavorable de las células del módulo [25].

Al requerir conectar controladores de carga en paralelo en el diseño del sistema fotovoltaico, se emplea la ecuación 17 [29].

$$N_{rp} = \frac{I_R}{I_b} \quad (17)$$

donde

I_R : intensidad nominal del regulador de carga (A)

I_b : intensidad nominal de un regulador de carga (A)

N_{rp} : número de elementos en paralelo

8.2.10.5 Dimensionado del Inversor

La tensión nominal de entrada tiene que coincidir con la tensión nominal del sistema de acumulación, U_n . La potencia nominal del inversor S_n se determina en base a la carga instalada del circuito de utilización y considerando un factor de potencia igual a uno, la misma se expresa en VA [25].

8.2.10.6 Cálculo de los Conductores y Caídas de Tensión del Sistema Fotovoltaico Autónomo

- **Recopilación de Datos**

Se requieren datos de potencias o intensidades, tensiones y longitudes de los diferentes tramos de la instalación fotovoltaica. Los tramos de línea característicos son [25]:

- a) Conexión de los módulos conectados en serie de cada cadena a la caja de conexiones del generador fotovoltaico (1). La corriente a considerar en este tramo será la intensidad de cortocircuito de un módulo fotovoltaico.

- b) Conexión de la caja de conexiones del generador fotovoltaico al regulador de carga (2). La corriente a considerar es la intensidad de cortocircuito del generador fotovoltaico.
- c) Conexión del regulador de carga con la batería de acumuladores (3). La corriente a considerar es la intensidad de cortocircuito del generador fotovoltaico.
- d) Conexión del regulador de carga con el inversor (4). La intensidad a considerar será la corriente de entrada del inversor para su potencia nominal y la tensión nominal del sistema de acumulación.
- e) Conexión del inversor con la caja general de mando y protección de la instalación de utilización (5). La intensidad a considerar será la corriente de salida del inversor para su potencia nominal y la tensión nominal de utilización en corriente alterna.
- d) Circuitos de utilización (6). Debido a que este tramo corresponde a una trayectoria en corriente alterna se considera una caída de tensión del 3 %.

En todos los tramos se debe considerar el valor de la intensidad multiplicado por un factor de 1,25 debido a que todos los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125 % de la máxima corriente del generador, en la Fig. 19 se indica gráficamente cada uno de los tramos [25].

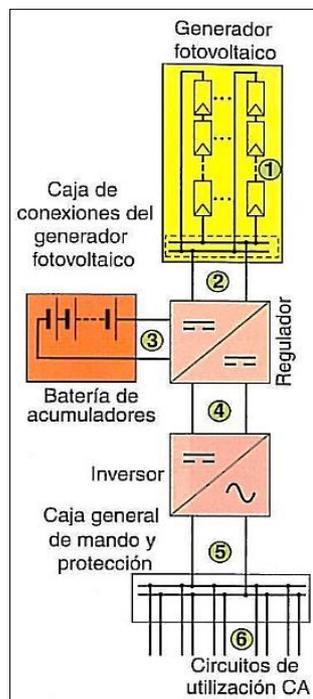


Fig. 19. Tramos de línea en un sistema fotovoltaico aislado sin considerar los dispositivos de protección

Fuente: [25]

- **Máxima Caída de Tensión Permitida**

La máxima caída de voltaje que deberá existir entre el sistema fotovoltaico y la caja general de mando y protección será de 1,5 % para la corriente nominal. Durante las horas de insolación, la intensidad de corriente circula (véase Fig. 20) por los trayectos A y B y en las horas de baja insolación o durante la noche la corriente circulará por la trayectoria C [25].

Para repartir la caída de tensión en cada tramo, se puede aplicar el criterio de asignar el mayor porcentaje de caída de tensión a la zona de voltaje nominal más bajo, y por lo tanto con mayores corrientes, realizando un reparto proporcional a las longitudes y dejar el resto para la zona de tensión nominal más alta [25].

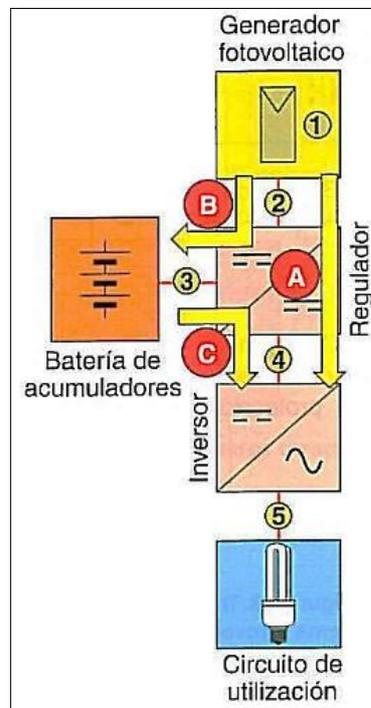


Fig. 20. Trayectorias de la intensidad de corriente durante el funcionamiento del generador fotovoltaico

Fuente: [25]

- **Tipos o Métodos de Instalación**

Los tipos de instalación se denominan como E, B1 y D, para el primer caso se puede emplear cable al aire sobre superficie o en bandeja perforada, en el segundo método se emplea canal con tapa y finalmente cable en conducto enterrado como se puede apreciar en la Fig. 21 [25].

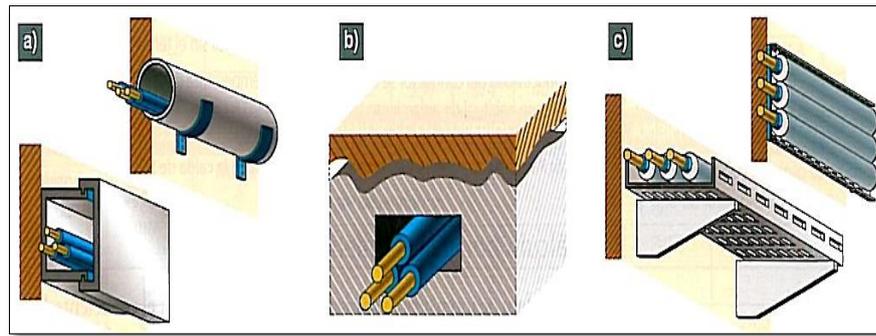


Fig. 21. Tipos de instalación. a) Método B1. b) Método D. c) Método E

Fuente: [25]

- **Tipos de Cable**

Para los tramos de c.c. 1 y 2, se utilizan cables resistentes a la intemperie, los cuales estén preparados para trabajar a temperaturas permanentes de 90 °C y soportar temperaturas entre – 40 °C y 120 °C [25].

Para los tramos de c.c. 3 y 4, y en el tramo de c.a. 5, se emplean tipos de cables propios de instalaciones de enlace, aislados con material termoestable como son los conductores con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta RZ1-K (AS) [25].

- **Cálculo por Caída de Tensión**

En los circuitos de c.c. y c.a. se emplea la ecuación 18, con una diferencia que para el sistema fotovoltaico el término $\cos \varphi$ no se considera [25].

$$S = \frac{200 \times L \times I \times \cos \varphi}{\Delta U_{\%} \times U \times \gamma_{90}} \quad (18)$$

donde

S: sección del conductor (mm²)

γ_{90} : conductividad del conductor a la temperatura de servicio 90 °C (45 s × m/mm²)

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

L: longitud de la línea (m)

I: intensidad de la línea (A)

U: tensión de la línea (V)

$\cos \phi$: factor de potencia de la carga al final de la línea

- **Cálculo por Calentamiento**

En los tramos 1 y 2 se deberá considerar una temperatura ambiente de 50 °C si están instalados en canal cerrada y un factor de corrección de 0,89 para cables con aislamiento XLPE. Si en el primer tramo hay más de un circuito en la misma canalización se deberá considerar un factor de corrección de 0,5 [25].

Y finalmente, si alguno de los tramos está expuesto al sol el factor de corrección será equivalente a 0,9. Para la elección de la sección del cable en función de los nuevos valores de las intensidades se emplea la tabla 3 [25].

Tabla 3. Intensidades admisibles en conductores de los diversos métodos de instalación

Método de instalación	Número de conductores cargados y tipo de instalación										
		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
A1		PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
A2	PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2						
B1				PVC3	PVC2		XLPE3		XLPE2		
B2			PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2				
C					PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
Columna 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Sección (mm ²)											
Cobre	1,5	11	11.5	13	13.5	15	16	16.5	19	20	21
	2,5	15	16	17.5	18.5	21	22	23	26	26.5	29
	4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38
	6	25	27	30	33.2	36	37	40	44	46	49
	10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68
	16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91
	25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116
	35	---	77	86	96	104	110	119	127	137	144
	50	---	94	103	117	125	133	145	155	167	175
	70	---	---	---	149	160	171	185	199	214	224

Fuente: [25]

8.2.10.7 Aparatos de Maniobra y Protección de un sistema fotovoltaico autónomo

En el caso de fusibles se dimensionan para actuar entre 1,5 y 2 veces la corriente de cortocircuito de un módulo solar (I_{sc}) y deben ser específicos para la protección de semiconductores. Si la

tensión del generador fotovoltaico es elevada se debe verificar que la tensión asignada al fusible soporta 1,2 veces la tensión de circuito abierto del generador (U_{Goc}) [25].

El interruptor general del sistema fotovoltaico es un dispositivo el cual deberá abrir o cerrar el circuito en condiciones de servicio, su dimensionamiento se lo realiza para soportar la corriente de cortocircuito del generador (I_{Gsc}) y la tensión de circuito abierto del sistema fotovoltaico (U_{Goc}) [25].

Los fusibles es la mejor solución debido a que estos dispositivos de protección son más eficientes en cuanto a intensidades elevadas de cortocircuito. En el tramo regulador de carga-sistema de acumulación se dimensiona para soportar entre 1,5 y 2 veces la corriente del generador (I_{Gsc}) y 1,2 veces la tensión de circuito abierto del sistema fotovoltaico (U_{Goc}) [25].

Si se presentan tramos en corriente alterna las protecciones deberán ser contra sobrecargas y cortocircuitos mediante interruptores automáticos magnetotérmicos y contra contactos directos e indirectos mediante interruptor diferencial de alta sensibilidad, su dimensionamiento se lo lleva a cabo para que soporte la corriente de salida del inversor y tensión nominal del circuito de utilización [25].

En la Fig. 22 se presenta los dispositivos de maniobra y protección para un sistema fotovoltaico aislado de la red de suministro eléctrico.

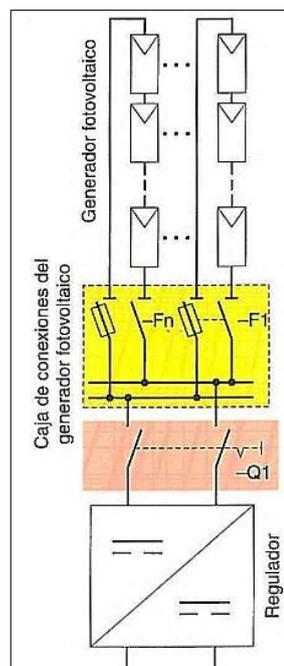


Fig. 22. Dispositivos de maniobra y protección del sistema fotovoltaico

Fuente: [25]

9. HIPÓTESIS

Si se realiza el diseño de un sistema de iluminación con tecnología LED a través de energía fotovoltaica entonces se podrá obtener niveles de calidad de iluminación con un consumo energético eficiente y contribuir a la mejora de la seguridad en el parqueadero.

Variable Independiente: Sistema de alumbrado LED fotovoltaico

Tabla 4. Variable Independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Son sistemas que funcionan en base a tecnología LED cuya finalidad es ofrecer una adecuada iluminación en condiciones aceptables de eficiencia, confort y seguridad, alimentados por medio de energía solar fotovoltaica	Medición de los niveles actuales de iluminación	Iluminación	lx	Luxómetro
	Configuración del sistema de alumbrado	Niveles de iluminación deseados	lx	Simulación Dialux evo
		Índice de uniformidad	Adimensional	
		Límite de deslumbramiento	Adimensional	
	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	Carga instalada	kW	Calcular por fórmula
		Energía necesaria diaria	Wh	
		Orientación e inclinación de los módulos solares	Coordenadas	
		Número de paneles	Unidad	
		Capacidad del sistema de acumulación	Ah	
		Capacidad del regulador de carga	A	
Potencia del inversor		VA		
Esquemas eléctricos	---	Programa AutoCAD		

Variable Dependiente: Niveles de calidad de iluminación**Tabla 5.** Variable Dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Es la cantidad de luxes disponibles sobre una superficie a iluminar	Verificación de los niveles de iluminación	Área a iluminar	m ²	Planos
		Iluminación	lx	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2248
		Isolíneas	lx	Dialux evo
		Densidad de potencia eléctrica para alumbrado	W/m ²	Calcular por fórmula

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente proyecto de investigación, se efectúa el dimensionamiento de un sistema de iluminación LED a través de energía fotovoltaica en el estacionamiento N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi, estableciendo los diversos parámetros eléctricos necesarios para la investigación, por otra parte, las técnicas, métodos y tipos de investigación estarán acordes al estudio.

10.1 Tipo de Investigación**10.1.1 Investigación Bibliográfica**

Este tipo de investigación permitió obtener una noción clara de los conceptos básicos y criterios a considerar para el dimensionamiento del sistema de iluminación con tecnología LED y fotovoltaico, basándose en fuentes tales como libros, artículos científicos, revistas y tesis.

10.1.2 Investigación Descriptiva

Con la finalidad de realizar la descripción del proyecto se utilizó la presente investigación, dividiendo la recolección de datos en tres etapas: primera etapa la medición de los niveles actuales de iluminación en el estacionamiento y el plano escalar de la zona a iluminar, segunda etapa observación del área donde se pueda instalar los paneles fotovoltaicos, por último la tercera etapa que consistió en la determinación de la carga instalada.

10.1.3 Investigación de Campo

La investigación de campo se empleó con el objeto de recolectar información sobre los principales parámetros para el diseño del sistema de alumbrado en el programa Dialux evo y el cálculo del sistema fotovoltaico, permitiendo obtener una nueva configuración según estándares de calidad de iluminación.

10.2 Métodos de Investigación

10.2.1 Método Inductivo

El método inductivo fue empleado para recolectar y enlistar las mediciones de iluminación realizadas en el estacionamiento de la Universidad Técnica de Cotopaxi haciendo uso del luxómetro, por consiguiente se obtuvieron resultados que reflejaron el estado actual de los niveles lumínicos.

10.2.2 Método Deductivo

Mediante la aplicación de este método se logró determinar la carga instalada expresada en kilovatios y así conocer la demanda de energía eléctrica que se requiere satisfacer. Adicionalmente se determinó el número de paneles que deberán ser instalados con su respectiva disposición, regulador de carga, banco de baterías y el inversor.

10.2.3 Método Analítico

Se utilizó este método para conseguir una metodología necesaria en el análisis de las mediciones que se obtuvieron por medio del luxómetro y enlistadas mediante el método inductivo. Con lo cual, se procedió a la verificación y comparación con los límites establecidos en la normativa correspondiente.

10.2.4 Método Descriptivo

Por medio de la implementación del método descriptivo se procedió a realizar una presentación esquemática en la que se detalla los resultados obtenidos de la recolección y análisis de datos, diseño del sistema de iluminación y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

10.3 Instrumentos

10.3.1 Luxómetro

El luxómetro permite medir la intensidad de la luz de fuentes LED blanca, fluorescentes, lámparas de vapor sodio de alta presión e incandescentes con una capacidad de medición hasta 4000 000 lux. Dentro de sus principales características se encuentra su larga vida útil.

10.3.2 Programa Dialux evo

Dialux es un software profesional de libre acceso que ayuda al dimensionamiento de sistemas de alumbrado y dispone de diversos modelos de luminarias de gran parte de los fabricantes, empleado mayormente para documentar y justificar instalaciones de iluminación. Este programa se destaca por ser de fácil manejo.

10.3.3 Programa AutoCAD

Dentro de los requerimientos mínimos a contemplar en la ingeniería del presente proyecto de investigación, se encuentran los planos correspondientes al estudio del sistema de iluminación LED y el sistema fotovoltaico autónomo, por lo tanto fue preciso el uso del programa AutoCAD para el diseño de los esquemas eléctricos.

10.4 Técnicas

10.4.1 Simulación

Como una forma para desarrollar el diseño del sistema de iluminación exterior se emplea la técnica denominada como simulación, misma que consiste en experimentos ejecutados en una computadora digital, que describen el comportamiento del sistema de alumbrado con tecnología de luz blanca.

10.4.2 La Observación

La observación es una técnica que se utilizó para identificar primeramente la zona total a iluminar y el espacio disponible donde se pueda instalar los módulos solares fotovoltaicos, haciendo uso de libretas, registros, fichas, entre otros instrumentos que permitan conservar los resultados.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.1 Generalidades de la Universidad Técnica de Cotopaxi

La Universidad Técnica de Cotopaxi (U.T.C.) está ubicada geográficamente en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, en el barrio El Ejido, parroquia Eloy Alfaro. Como se puede evidenciar en la Fig. 23, se delimita el área correspondiente a las instalaciones de la Universidad de color amarillo y el estacionamiento que representa el área de estudio con el color rojo.

Esta prestigiosa institución nace el 24 de enero de 1995 y en el transcurso del tiempo se ha caracterizado por llevar una lucha perseverante con la finalidad de alcanzar la igualdad social, brindar una formación de profesionales con amplios conocimientos académicos y sentido humanista, a más de ofrecer el libre acceso a la juventud ecuatoriana sin importar su estrato social para que puedan formarse como profesionales.



Fig. 23. Ubicación geográfica de la Universidad Técnica de Cotopaxi

11.2 Análisis Técnico del Sistema Actual de Iluminación en el Estacionamiento N° 1

El estacionamiento N° 1 del bloque antiguo de la Universidad Técnica de Cotopaxi actualmente dispone de un sistema de alumbrado poco eficiente como se puede visualizar en la Fig. 24 y en el estudio de iluminación que se detalla en la tabla 11, no obstante existe una gran afluencia de

vehículos y peatones, razón por la cual es necesario un sistema de iluminación exterior que brinde niveles de calidad para todas aquellas personas que hacen uso de esta área.



Fig. 24. Estacionamiento N° 1

11.2.1 Estacionamiento N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi

11.2.1.1 Características del Estacionamiento

Este espacio destinado para el personal docente y alumnos en general, dispone de un área aproximada de 1799.69 metros cuadrados, con un total de 60 plazas de parqueo para vehículos y autobuses.

Cuenta con 3 postes laterales con un total de 3 luminarias, mismas que ocupan lámparas de vapor de sodio de baja presión y 5 reflectores, el acceso vehicular se sitúa en la calle El Salvador cumpliendo la función de entrada y salida.

11.2.1.2 Medición de los niveles de iluminancia

Para realizar la medición de la iluminación en el estacionamiento N° 1, se siguió el procedimiento denominado punto por punto, debido a que este método ofrece mayor exactitud en los resultados, en comparación con métodos semejantes que a pesar de facilitar considerablemente la toma de datos carecen de precisión.

11.2.1.3 Procedimiento de medición de iluminancia

Con la finalidad de facilitar la medición de los niveles de iluminancia se dividió el estacionamiento en 5 secciones, como se indica en la Fig. 25 y mediante el método descrito en el apartado anterior, se efectuó en cada zona el estudio de iluminación.

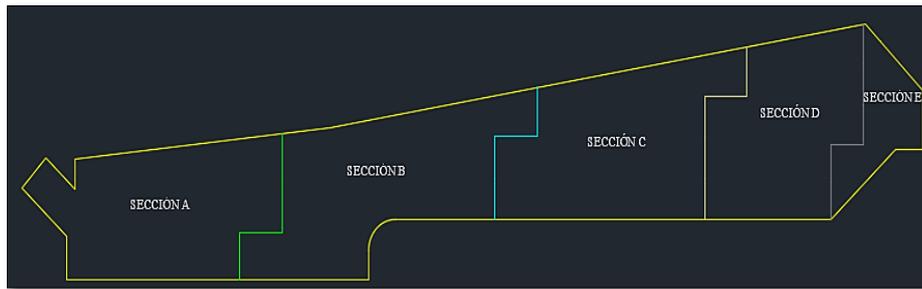


Fig. 25. Divisiones del estacionamiento N° 1

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

La toma de datos de los niveles de iluminancia con el luxómetro Digisense 20250-00 se efectuó en el punto centro de cada rectángulo o figura geométrica irregular.

El sensor se ubicó a una altura de quince centímetros en posición horizontal según la normativa RTE INEN 069 [16]. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de los niveles de iluminación en la sección A

Punto Núm.	Iluminación (lx)
Acceso	
1	12,80
2	9,00
Franja de circulación	
4	7,00
5	4,80
7	5,95
8	4,55
10	5,50
13	6,00
16	8,25
Plazas de estacionamiento extremo izquierdo	
3	10,05
6	8,50
9	6,95
12	6,90
15	11,65
Plazas de estacionamiento extremo derecho	
11	4,45
14	4,85

En la Fig. 26 se visualiza la ubicación de los puntos de medición correspondientes a la sección A, según el plano realizado en el software AutoCAD.

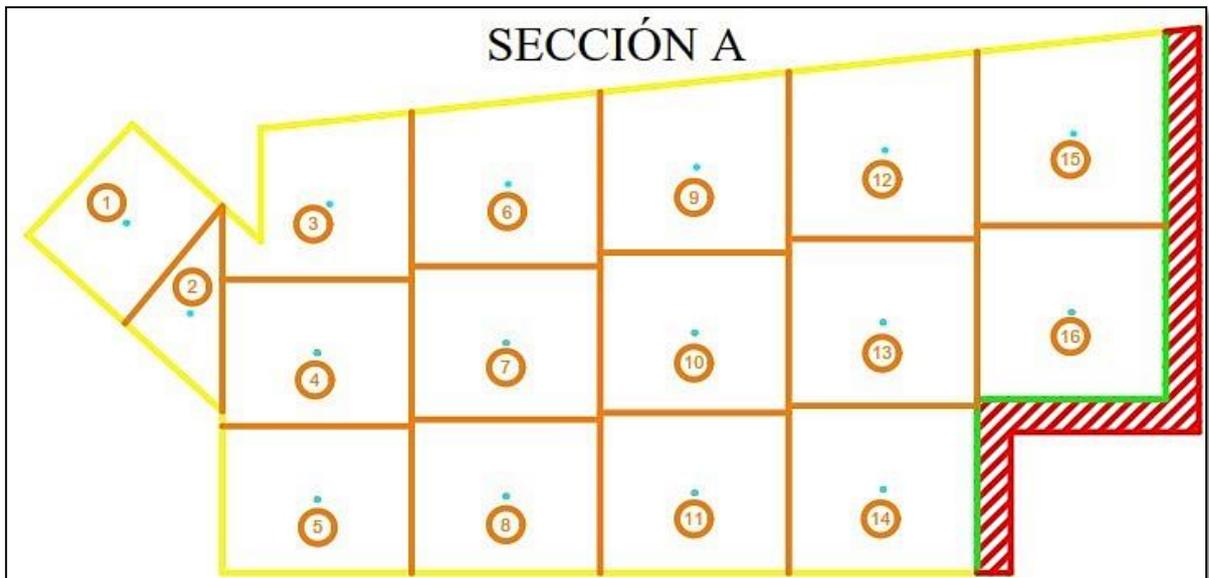


Fig. 26. Puntos de medición, sección A

Con los resultados de iluminación obtenidos en cada punto y mediante la media aritmética ponderada que consiste en sumar las iluminancias y dividir por el número total de puntos evaluados, se encontrará la iluminación media E_m .

a) Acceso:

$$E_m = \frac{(12,80 + 9,00) \text{ lx}}{2} = 10,90 \text{ lx}$$

b) Franja de circulación:

$$E_m = \frac{(7,00 + 4,80 + 5,95 + 4,55 + 5,50 + 6,00 + 8,25) \text{ lx}}{7} = 6,01 \text{ lx}$$

c) Plazas de estacionamiento extremo izquierdo:

$$E_m = \frac{(10,05 + 8,50 + 6,95 + 6,90 + 11,65) \text{ lx}}{5} = 8,81 \text{ lx}$$

d) Plazas de estacionamiento extremo derecho:

$$E_m = \frac{(4,45 + 4,85) \text{ lx}}{2} = 4,65 \text{ lx}$$

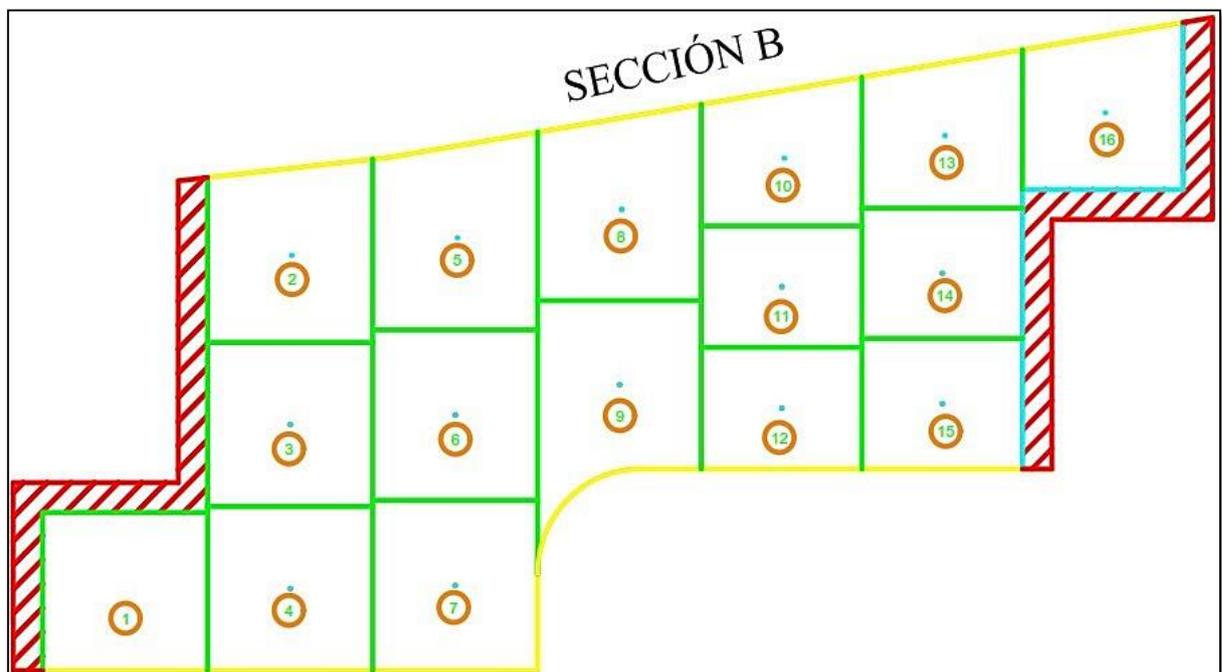
- **Estudio de iluminación en la sección B**

Esta sección se localiza entre la entrada y la zona centro del estacionamiento, la toma de datos de los niveles de iluminación con el luxómetro se efectuó en el punto centro de cada rectángulo o figura geométrica irregular. El sensor se ubicó a una altura de quince centímetros en posición horizontal, los valores medidos se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de los niveles de iluminación en la sección B

Punto Núm.	Iluminación (lx)
Franja de circulación	
3	11,20
6	24,80
9	23,60
11	8,45
12	10,65
14	31,95
Plazas de estacionamiento extremo izquierdo	
2	15,10
5	9,75
8	7,90
10	11,80
13	15,45
16	22,10
Plazas de estacionamiento extremo derecho	
1	6,15
4	12,20
7	42,70
15	21,80

En la Fig. 27 se observa la distribución de los puntos de medición propios a la sección B, según el plano realizado en el software AutoCAD.

**Fig. 27.** Puntos de medición, sección B

Una vez adquiridos los resultados en cada uno de estos puntos y mediante la media aritmética ponderada se procede a determinar la iluminación media E_m .

a) Franja de circulación:

$$E_m = \frac{(11,20 + 24,80 + 23,60 + 8,45 + 10,65 + 31,95) \text{ lx}}{6} = 18,44 \text{ lx}$$

b) Plazas de estacionamiento extremo izquierdo:

$$E_m = \frac{(15,10 + 9,75 + 7,90 + 11,80 + 15,45 + 22,10) \text{ lx}}{6} = 13,68 \text{ lx}$$

c) Plazas de estacionamiento extremo derecho:

$$E_m = \frac{(6,15 + 12,20 + 42,70 + 21,80) \text{ lx}}{4} = 20,71 \text{ lx}$$

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

La medición de los niveles de iluminancia en la zona central del estacionamiento se lo realizó con el luxómetro en el punto centro de cada rectángulo o figura geométrica irregular. El sensor se ubicó a una altura de quince centímetros en posición horizontal, teniendo como resultado la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de los niveles de iluminación en la sección C

Punto Núm.	Iluminación (lx)
Franja de circulación	
1	53,85
4	52,85
7	37,25
10	29,95
11	58,55
14	18,70
15	35,10
Plazas de estacionamiento extremo izquierdo	
3	21,70
6	19,50
9	14,00
13	10,85
17	1,55
Plazas de estacionamiento extremo derecho	
2	77,85
5	89,55
8	48,70
12	68,20
16	35,20

Los puntos de medición propios de la sección C, se pueden ver en la Fig. 28 que se presenta a continuación.

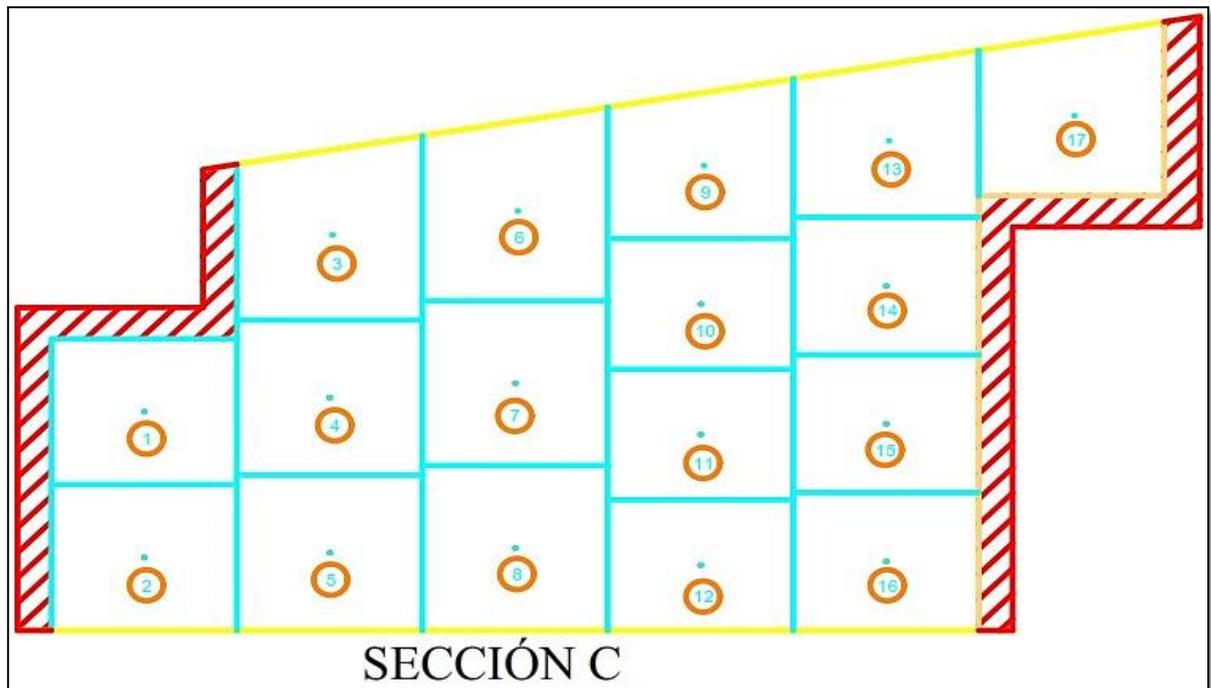


Fig. 28. Puntos de medición, sección C

Con los anteriores valores de iluminancia, se puede conocer la iluminación media E_m disponible.

a) Franja de circulación:

$$E_m = \frac{(53,85 + 52,85 + 37,25 + 29,95 + 58,55 + 18,70 + 35,10) \text{ lx}}{7} = 40,89 \text{ lx}$$

b) Plazas de estacionamiento extremo izquierdo:

$$E_m = \frac{(21,70 + 19,50 + 14,00 + 10,85 + 1,55) \text{ lx}}{5} = 13,52 \text{ lx}$$

c) Plazas de estacionamiento extremo derecho:

$$E_m = \frac{(77,85 + 89,55 + 48,70 + 68,20 + 35,20) \text{ lx}}{5} = 63,90 \text{ lx}$$

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

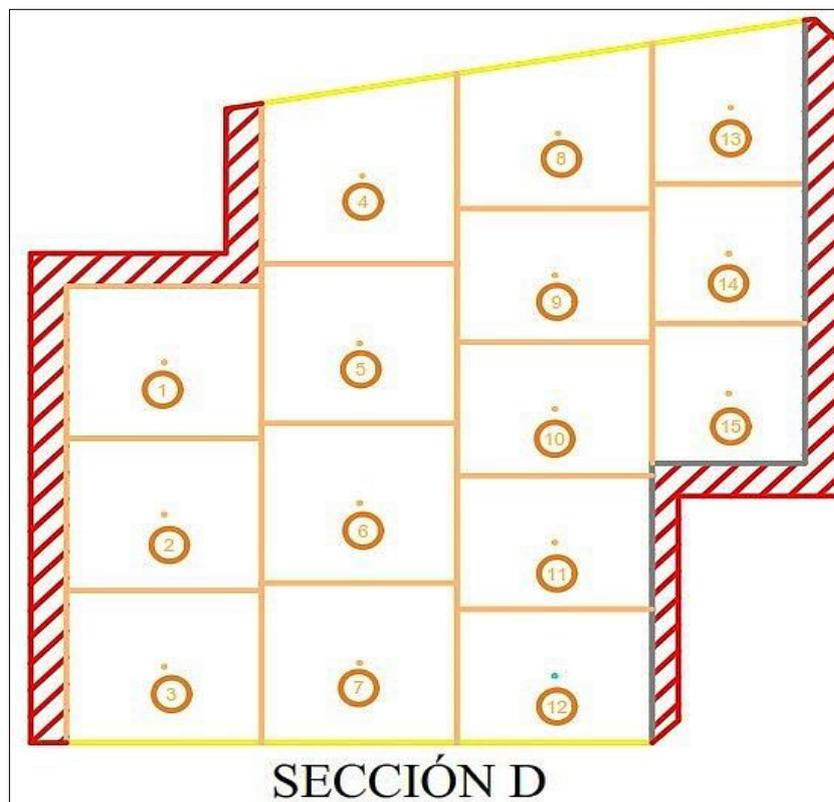
Para la medición de los niveles de iluminación en la zona D se empleó el luxómetro, mismo que se sitúa en el punto centro de cada rectángulo o figura geométrica irregular.

El sensor se ubicó a una altura de quince centímetros en posición horizontal, teniendo como resultado los valores descritos en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de los niveles de iluminación en la sección D

Punto Núm.	Iluminación (lx)
Franja de circulación	
1	9,75
2	10,30
4	3,45
5	5,10
6	5,55
8	3,15
9	4,35
10	6,95
11	10,60
13	1,90
Plaza de estacionamiento extremo derecho	
3	8,70
7	3,45
12	17,50
Plazas de estacionamiento buses	
14	0,55
15	3,25

La Fig. 29 muestra la distribución de los puntos de medición propios de la sección D, según el plano realizado en AutoCAD.

**Fig. 29.** Puntos de medición, sección D

Por medio de la media aritmética ponderada se determina la iluminación media E_m existente.

a) Franja de circulación:

$$E_m = \frac{(9,75 + 10,30 + 3,45 + 5,10 + 5,55 + 3,15 + 4,35 + 6,95 + 10,60 + 1,90)}{10} lx = 6,11 lx$$

b) Plazas de estacionamiento extremo derecho:

$$E_m = \frac{(8,70 + 3,45 + 17,50)}{3} lx = 9,88 lx$$

c) Plazas de estacionamiento buses:

$$E_m = \frac{(0,55 + 3,25)}{2} lx = 1,90 lx$$

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

La última zona donde se efectuará el estudio de iluminancia corresponde a las plazas de estacionamiento de los buses de la U.T.C. y la medición de los niveles de iluminación se lo realizó mediante el luxómetro, ubicando el equipo en el punto centro de cada rectángulo o figura geométrica irregular.

El sensor se ubicó a una altura de quince centímetros en posición horizontal según normativa, teniendo como resultado los valores descritos en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados de los niveles de iluminación en la sección E

Punto Núm.	Iluminación (lx)
Franja de circulación	
1	15,45
2	25,50
3	1,20
6	16,70
8	5,90
Plazas de estacionamiento buses	
4	1,00
5	10,15
7	0,65

En la Fig. 30 se visualiza la ubicación de los puntos de medición correspondientes a la sección E, según el plano realizado en el software AutoCAD.

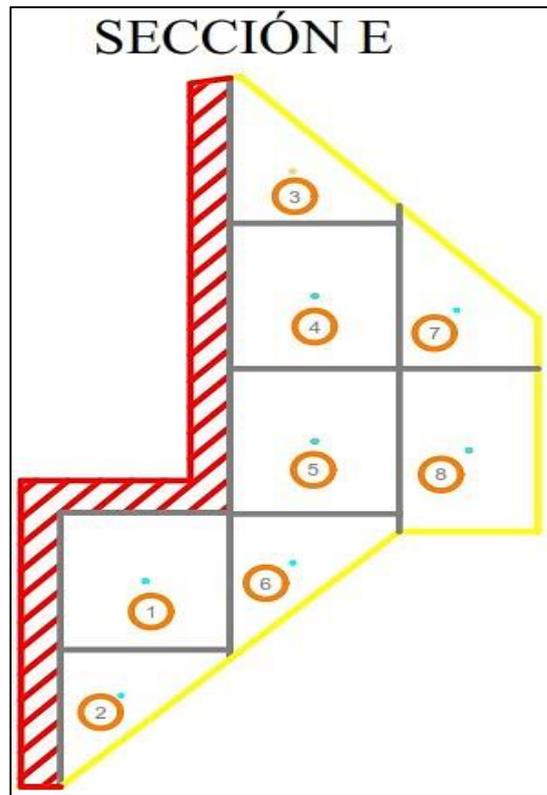


Fig. 30. Puntos de medición, sección E

Una vez adquiridos los resultados en cada punto y mediante la media aritmética ponderada se procede a calcular la iluminación media E_m .

a) Franja de circulación:

$$E_m = \frac{(15,45 + 25,50 + 1,20 + 16,70 + 5,90) \text{ lx}}{5} = 12,95 \text{ lx}$$

b) Plazas de estacionamiento buses:

$$E_m = \frac{(1,00 + 10,15 + 0,65) \text{ lx}}{3} = 3,93 \text{ lx}$$

11.2.1.4 Evaluación de los niveles de iluminación según la normativa NTE INEN 2248

Actualmente en el parqueadero N° 1 de la U.T.C. no se encuentra en funcionamiento una lámpara (véase Fig. 31), ocasionando que los niveles de iluminación disminuyan considerablemente en esta sección.



Fig. 31. Luminaria fuera de servicio

- **Criterios de aceptación**

La norma NTE INEN 2248 en el **apartado 5.2.5** establece los siguientes niveles de iluminación a considerar en el diseño de un estacionamiento [23]:

- En franjas de circulación (90 – 160) lux
- Plaza de estacionamiento (30 – 100) lux
- Acceso (500 – 1000) lux

En la tabla 11 se muestra un resumen de los valores obtenidos del estudio de iluminancia efectuado en cada sección del parqueadero.

Tabla 11. Iluminación media por sección

Sección	Descripción	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumplimiento NTE INEN 2248
A	Acceso	10,90	500 – 1000	NO
	Franja de circulación	6,01	90 – 160	NO
	Plazas de estacionamiento extremo izquierdo	8,81	30 – 100	NO
	Plazas de estacionamiento extremo derecho	4,65		NO
B	Franja de circulación	18,44	90 – 160	NO
	Plazas de estacionamiento extremo izquierdo	13,68	30 – 100	NO
	Plazas de estacionamiento extremo derecho	20,71		NO
C	Franja de circulación	40,89	90 – 160	NO
	Plazas de estacionamiento extremo izquierdo	13,52	30 – 100	NO
	Plazas de estacionamiento extremo derecho	63,90		SI
D	Franja de circulación	6,11	90 – 160	NO
	Plazas de estacionamiento extremo derecho	9,88	30 – 100	NO
	Plazas de estacionamiento buses	1,90		NO
E	Franja de circulación	12,95	90 – 160	NO
	Plazas de estacionamiento buses	3,93	30 – 100	NO

Mediante el procedimiento descrito en este capítulo se constató que los niveles actuales de iluminancia en el estacionamiento N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en su mayoría no cumplen con la normativa vigente que regula estos proyectos, lo cual se debe principalmente a una mala distribución de las luminarias en el extremo derecho del estacionamiento, afectando directamente la visibilidad en la franja de circulación vehicular y en las plazas de estacionamiento.

El extremo izquierdo del parqueadero solamente dispone de tres luminarias y solo dos lámparas se encuentran en funcionamiento, por otra parte, la ruta de acceso dispone únicamente de un reflector. Por consiguiente estos factores afectan negativamente en la calidad de los niveles de iluminación (véase Fig. 32).

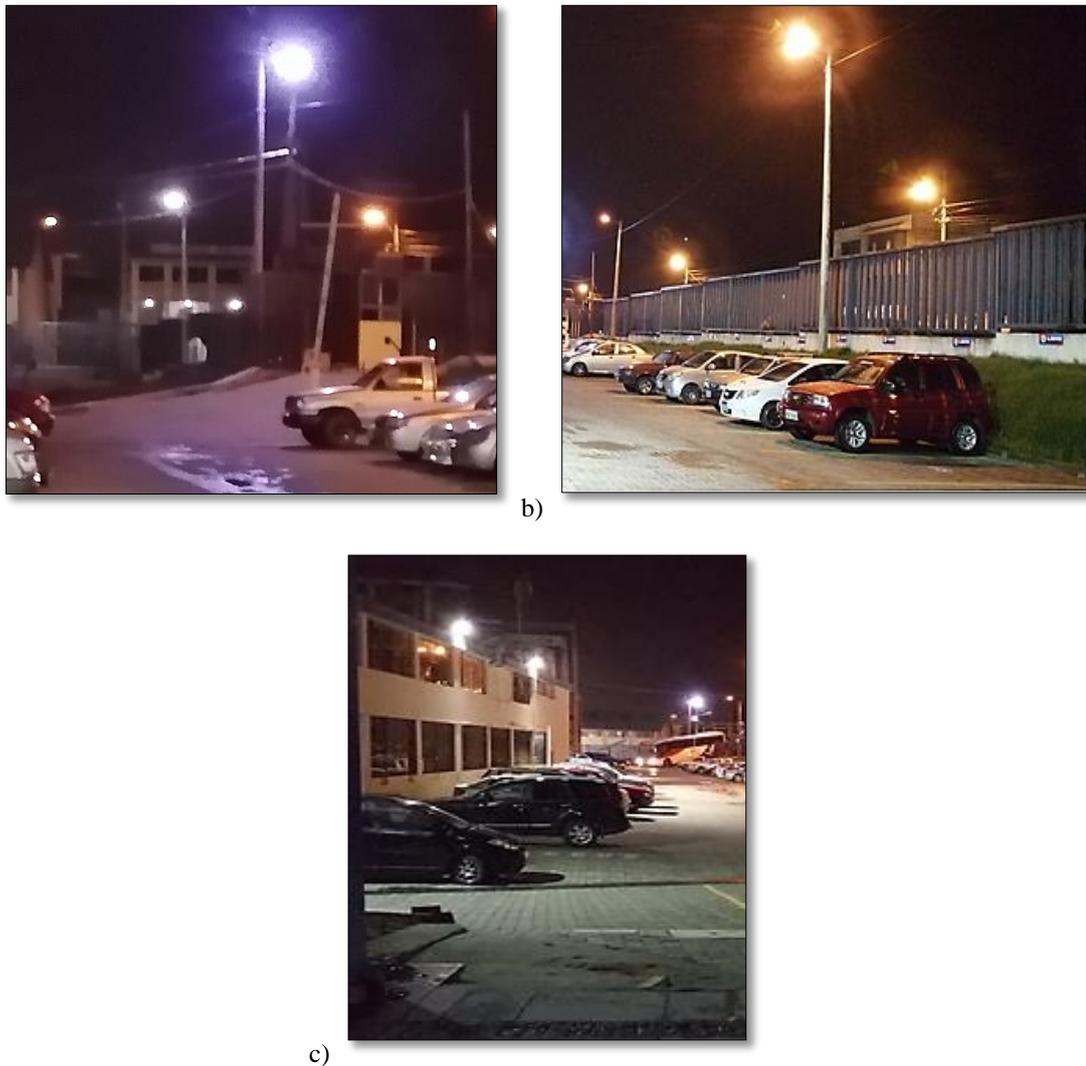


Fig. 32. Estado actual de los niveles de iluminación del parqueadero, a) Acceso, b) Extremo izquierdo del estacionamiento, c) Extremo derecho del estacionamiento

11.3 Propuesta de alumbrado LED para el estacionamiento N° 1 de la U.T.C.

La implementación de la tecnología LED en alumbrado exterior ha tenido un gran crecimiento en la actualidad, la razón principal es, debido a las diversas ventajas que la misma ofrece frente a sus competidores más cercanos. El estudio desarrollado a continuación se centra en brindar niveles de calidad de iluminación.

11.3.1 Características principales de las luminarias

En el diseño de proyectos destinados para aparcamientos se requiere de luminarias cuyo paquete lumínico, vida útil y perfil energético se adapten para brindar una solución óptima en función del medio ambiente donde serán instaladas.

Para la propuesta de alumbrado LED fue necesario el uso de dos clases de luminarias de alto rendimiento, con la finalidad de cumplir los niveles de iluminación dados por la normativa NTE INEN 2248 y cuyas características se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Datos de las luminarias LED

Potencia nominal	Temperatura de color	Eficiencia luminosa	Flujo de la lámpara	Balasto	Protección	Vida útil	Rango de temperatura ambiente
Acceso							
245 W	740 blanco neutro	145 lm/W	40000 lm	NO	IP66	100.000 horas	- 40 °C a + 50 °C
Plazas de estacionamiento y Franja de circulación							
134 W	740 blanco neutro	146 lm/W	22000 lm	NO	IP66	100.000 horas	- 40 °C a + 50 °C

11.3.2 Diseño del sistema de iluminación LED mediante el software Dialux evo

El software Dialux evo es una herramienta versátil y de gran importancia para un proyectista, pues permite simular una gran variedad de escenarios que consisten básicamente en estudios de iluminación de carreteras para alumbrado público, planificación de espacio interior, al igual que la planificación de exteriores y edificio.

El programa dispone de luminarias y sus especificaciones técnicas provistas por varios fabricantes de marcas reconocidas a nivel mundial, además de permitir la importación de planos directamente de AutoCAD, por consiguiente facilitando considerablemente el diseño del proyecto.

Una primera etapa consistió en la modelación del aparcamiento que se tomó como base para la implementación de las luminarias LED, en la Fig. 33 se puede evidenciar el modelo final del estacionamiento.



Fig. 33. Estacionamiento N° 1 de la U.T.C.

11.3.2.1 Sección A

Al hablar de los criterios primordiales de la calidad son tres los factores que conforman un proyecto de iluminancia exterior eficiente:

- Los niveles de iluminación,
- Índice de uniformidad, y
- El límite de deslumbramiento.

En cada una de las secciones que por facilidad de trabajo se dividió al estacionamiento, su diseño se basa en estos tres factores, debido a que, el incumplimiento de solamente uno afectará negativamente a los restantes y ya no se tendría un proyecto con niveles de calidad.

En la Fig. 34 se describe esta sección, pero, en el acceso se requiere un nivel de iluminación como mínimo de 500 lx, en consecuencia la altura de montaje al igual que el número de luminarias difiere en potencia y distancia de instalación (véase tabla 12), con la finalidad de cumplir lo requerido en iluminancia sin afectar la uniformidad y el deslumbramiento.

Los resultados obtenidos para esta área se describen en la tabla 13, donde se indica si los niveles de iluminación para esta zona cumplen con los rangos descritos en la normativa correspondiente.

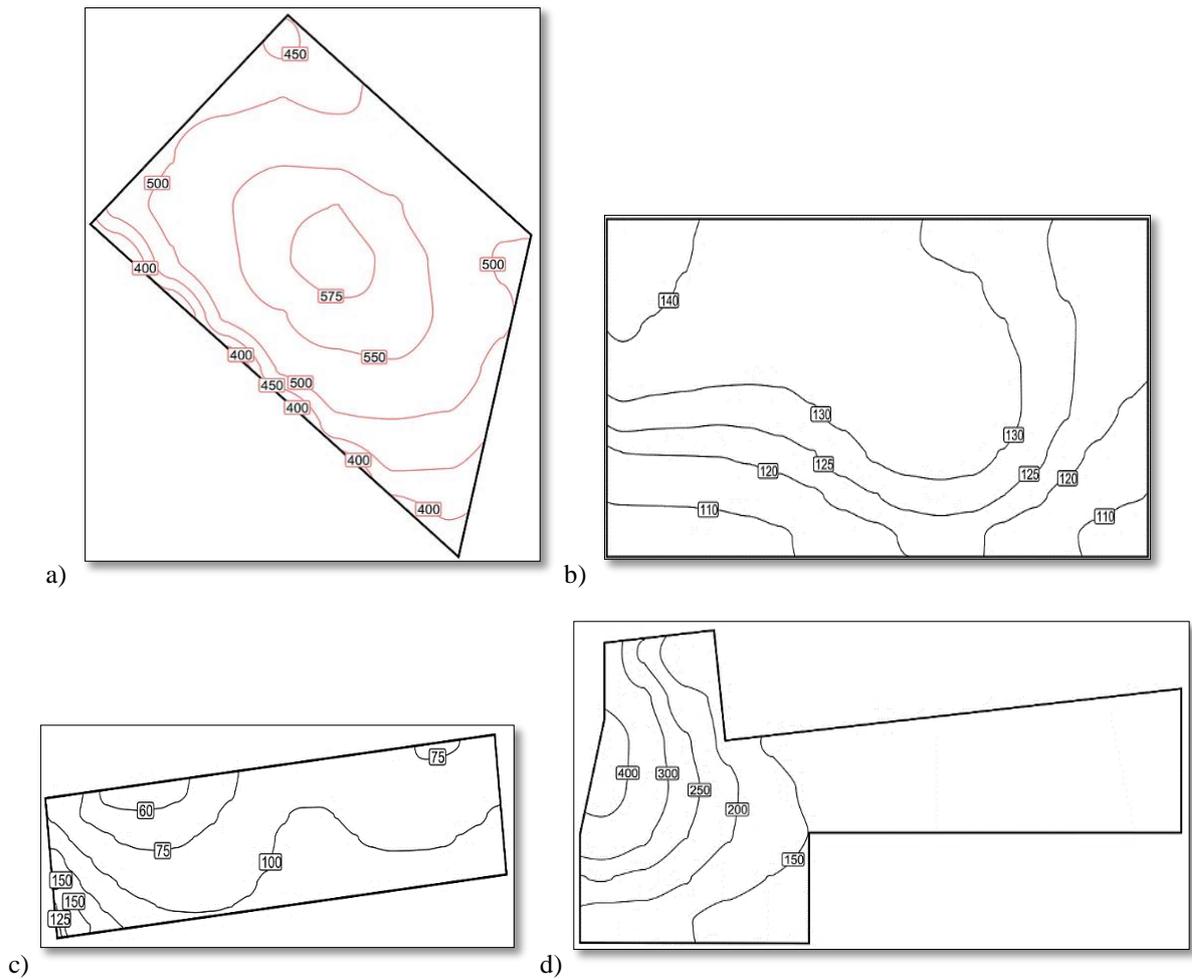


Fig. 34. Isolíneas [lx], a) Acceso, b) Plazas de estacionamiento extremo derecho, c) Plazas de estacionamiento extremo izquierdo, d) Franja de circulación

Tabla 13. Resultados sección A

Descripción	Número de unidades	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumple con la NTE INEN 2248	Índice de uniformidad ($\geq 0,50$)	Límite de deslumbramiento (≤ 50)
Acceso	4	518	500 – 1000	SI	0,75	38
Franja de circulación	2	180	90 – 160	SI	0,60	47
Plazas de estacionamiento extremo izquierdo		94	30 – 100	SI	0,56	39
Plazas de estacionamiento extremo derecho		126		SI	0,82	45

11.3.2.2 Sección B

Con la ayuda de Dialux evo se obtuvieron los resultados descritos en la tabla 14, así mismo las principales características fotométricas donde se indican los niveles de iluminación para esta zona por medio de las isolíneas (véase Fig. 35).

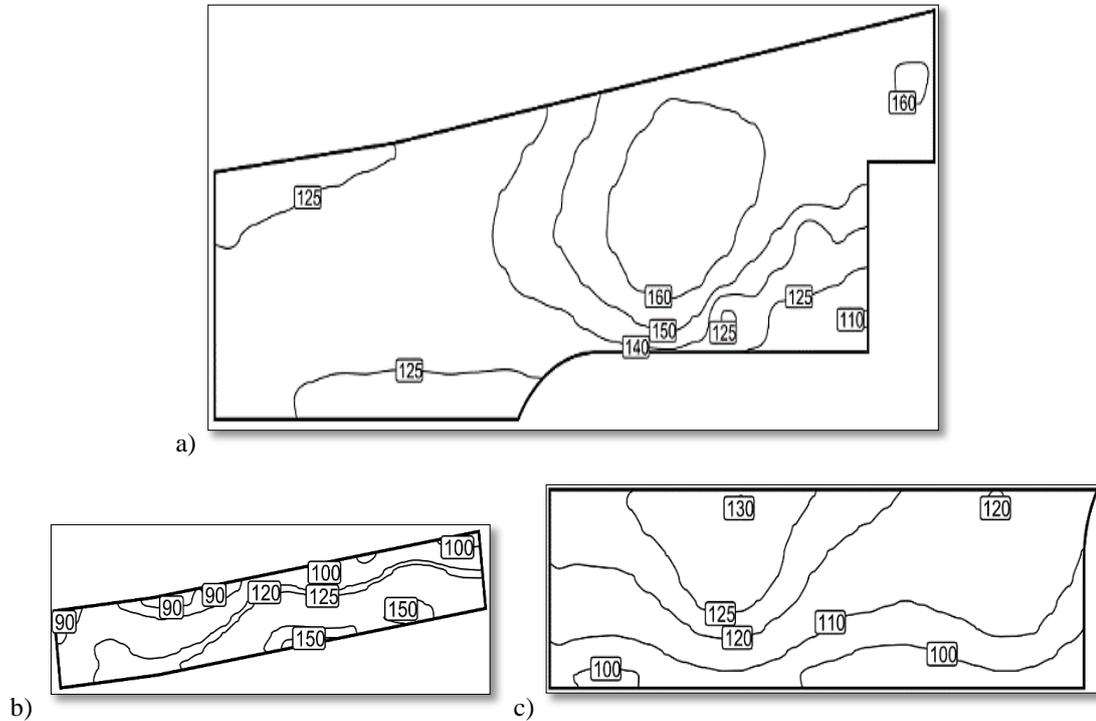


Fig. 35. Isolíneas [lx], a) Franja de circulación, b) Plazas de estacionamiento extremo izquierdo, c) Plazas de estacionamiento extremo derecho

Tabla 14. Resultados sección B

Descripción	Número de unidades	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumple con la NTE INEN 2248	Índice de uniformidad ($\geq 0,50$)	Límite de deslumbramiento (≤ 50)
Franja de circulación	6	141	90 – 160	SI	0,77	38
Plazas de estacionamiento extremo izquierdo		122		SI	0,68	38
Plazas de estacionamiento extremo derecho		115		SI	0,79	35

11.3.2.3 Sección C

A través del programa Dialux evo se obtuvo la tabla 15, al igual que las principales características fotométricas donde se muestran los niveles de iluminación para esta área mediante las isolíneas (véase Fig. 36).

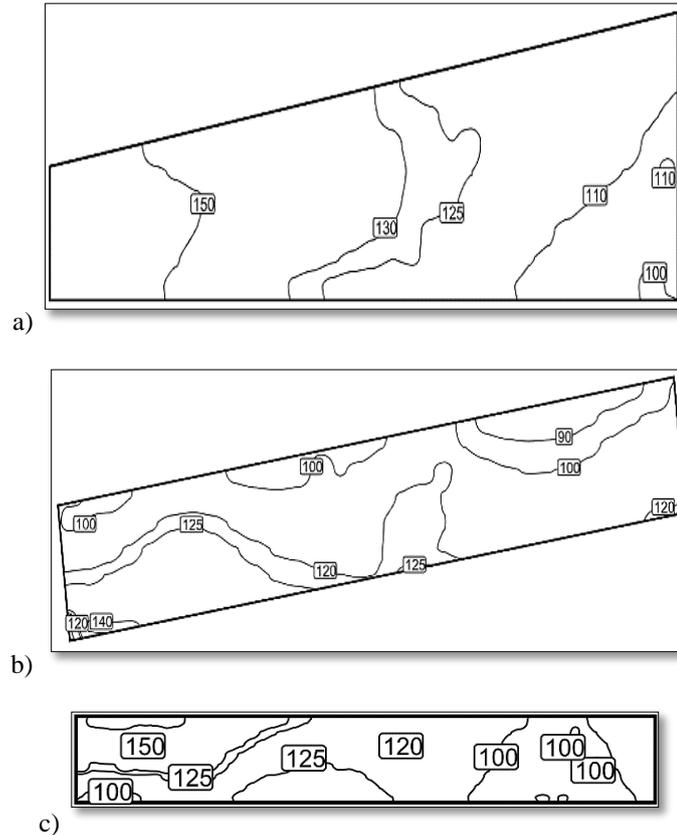


Fig. 36. Isolíneas [lx], a) Franja de circulación, b) Plazas de estacionamiento extremo izquierdo, c) Plazas de estacionamiento extremo derecho

Tabla 15. Resultados sección C

Descripción	Número de unidades	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumple con la NTE INEN 2248	Índice de uniformidad ($\geq 0,50$)	Límite de deslumbramiento (≤ 50)
Franja de circulación	5	129	90 – 160	SI	0,77	38
Plazas de estacionamiento extremo izquierdo		113	30 – 100	SI	0,71	37
Plazas de estacionamiento extremo derecho		111		SI	0,72	38

11.3.2.4 Sección D

La tabla 16 muestra los resultados obtenidos mediante el programa Dialux evo, al igual que las características fotométricas donde se muestran los niveles de iluminación para esta sección a través de las isólinas (véase Fig. 37).

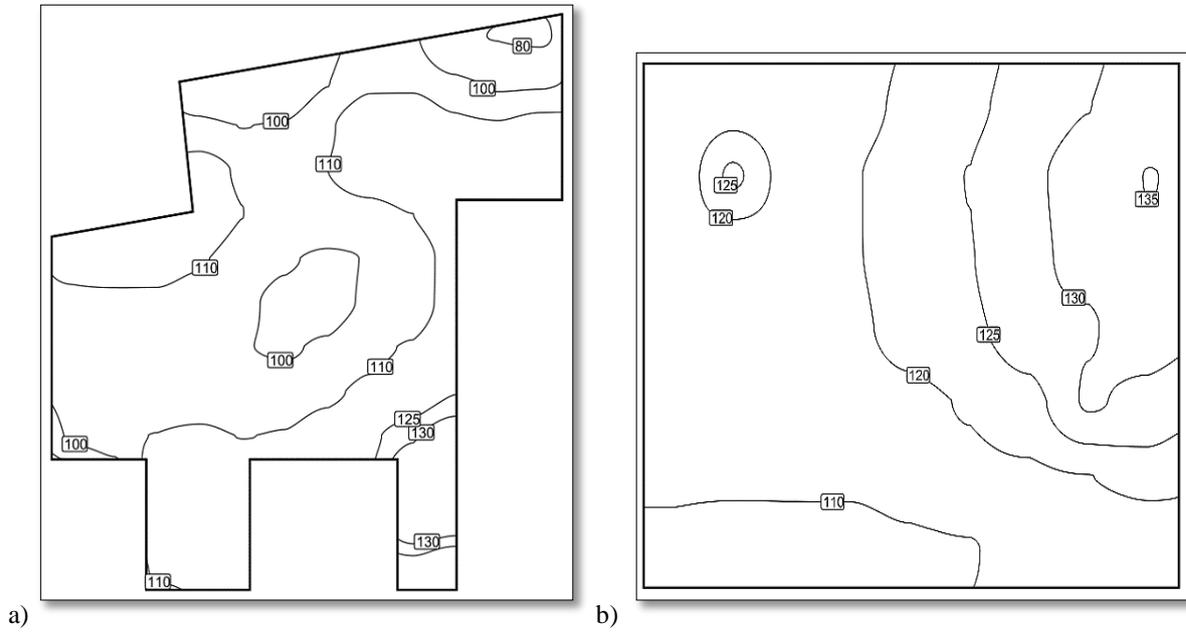


Fig. 37. Isólinas [lx], a) Franja de circulación, b) Plazas de estacionamiento extremo derecho

Tabla 16. Resultados sección D

Descripción	Número de unidades	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumple con la NTE INEN 2248	Índice de uniformidad ($\geq 0,50$)	Límite de deslumbramiento (≤ 50)
Franja de circulación	3	109	90 – 160	SI	0,71	38
Plazas de estacionamiento extremo derecho		120	30 – 100	SI	0,89	32

11.3.2.5 Sección E

Mediante el software Dialux evo se obtuvo la tabla 17, al igual que las características fotométricas donde se muestran los niveles de iluminación para esta sección por medio de las isólinas (véase Fig. 38).

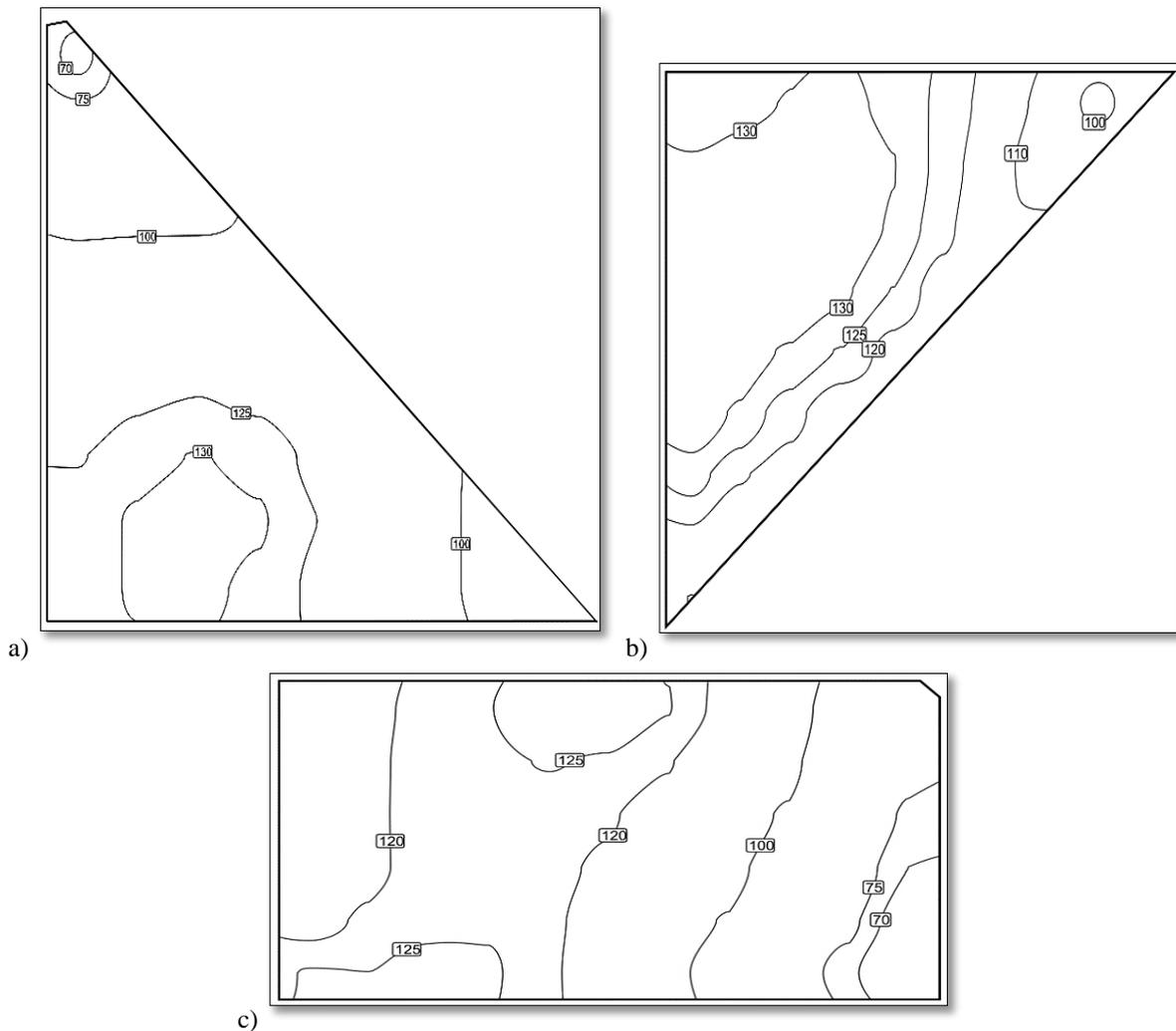


Fig. 38. Isolíneas [lx], a) Franja de circulación 1, b) Franja de circulación 2, c) Plazas de estacionamiento buses

Tabla 17. Resultados sección E

Descripción	Número de unidades	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumple con la NTE INEN 2248	Índice de uniformidad ($\geq 0,50$)	Límite de deslumbramiento (≤ 50)
Franja de circulación 1	2	113	90 – 160	SI	0,61	36
Franja de circulación 2		125		SI	0,79	31
Plazas de estacionamiento buses		109	30 – 100	SI	0,56	36

11.3.3 Densidad de potencia eléctrica (DPEA) del estacionamiento N° 1 con luminarias LED

El sistema de iluminación LED propuesto para el aparcamiento cuenta con veintidós luminarias, de la cuales, cuatro son destinadas para el acceso con una potencia de 245 W, dieciocho para

plazas de estacionamiento y franja de circulación con una potencia de 134 W. El área total iluminada corresponde a 1799,69 metros cuadrados.

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$DPEA = \frac{3392 W}{1799,69 m^2} = 1,88 \frac{W}{m^2}$$

Obteniendo así una densidad de potencia eléctrica para alumbrado de 1,88 W/m².

11.4 Propuesta de alumbrado mediante lámparas de vapor de sodio de alta presión para el estacionamiento N° 1 de la U.T.C.

Este diseño se lo lleva a cabo con el objeto de comparar estas dos tecnologías, por un lado las lámparas convencionales como los son las de vapor de sodio a alta presión y por el otro las luminarias LED.

11.4.1 Características principales de las luminarias

En la tabla 18 se presentan las características principales de las luminarias empleadas para la presente propuesta de un sistema de iluminación convencional.

Tabla 18. Datos de las luminarias de vapor de sodio a alta presión

Potencia nominal	Temperatura de color	Eficiencia luminosa	Flujo de la lámpara	Balasto	Protección	Vida útil
Acceso, Plazas de estacionamiento y Franja de circulación						
276 W	220	78 lm/W	28000 lm	Reactor	IP65	28000 horas

11.4.2 Diseño del sistema de iluminación convencional mediante el software Dialux evo

Los criterios de calidad descritos con anterioridad se deben cumplir para todo proyecto de iluminación exterior independientemente de la tecnología empleada, con la finalidad de obtener un sistema que cumpla con cada uno de los factores y se encuentre dentro de los parámetros establecidos según normativa, es así que, en la tabla 19 se indican los resultados obtenidos de la simulación de un sistema de alumbrado convencional ocupando lámparas de vapor de sodio de alta presión.

Tabla 19. Resultados de los criterios de calidad en las cinco secciones del estacionamiento

Sección	Descripción	Número de unidades	Iluminación media (lx)	Criterio de aceptación (lx)	Cumple con la NTE INEN 2248	Índice de uniformidad ($\geq 0,50$)	Límite de deslumbramiento (≤ 50)
A	Acceso	9	552	500 – 1000	SI	0,63	36
	Franja de circulación		167	90 – 160	SI	0,56	48
	Plazas de estacionamiento extremo izquierdo		158	30 – 100	SI	0,64	38
	Plazas de estacionamiento extremo derecho		168		SI	0,75	45
B	Franja de circulación	8	134	90 – 160	SI	0,72	39
	Plazas de estacionamiento extremo izquierdo		160	30 – 100	SI	0,66	37
	Plazas de estacionamiento extremo derecho		171		SI	0,77	36
C	Franja de circulación	6	95,9	90 – 160	SI	0,80	32
	Plazas de estacionamiento extremo izquierdo		146	30 – 100	SI	0,71	35
	Plazas de estacionamiento extremo derecho		183		SI	0,65	38
D	Franja de circulación	2	115	90 – 160	SI	0,69	38
	Plazas de estacionamiento extremo derecho		149	30 – 100	SI	0,92	38
E	Franja de circulación 1	3	144	90 – 160	SI	0,68	37
	Franja de circulación 2		159		SI	0,79	37
	Plazas de estacionamiento buses		123	30 – 100	SI	0,59	35

11.4.3 Densidad de potencia eléctrica (DPEA) del estacionamiento N° 1 con luminarias de vapor de sodio en alta presión

El dimensionamiento del presente sistema de alumbrado convencional por medio de lámparas de vapor de sodio en alta presión dispone en su totalidad de veintiocho luminarias con una potencia de 276 W, las pérdidas aceptadas en el balasto reactor son de 30,713 W razón por la cual se tiene como potencia total 306,713 W, el área total iluminada es de 1799,69 metros cuadrados.

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$DPEA = \frac{8587,96 W}{1799,69 m^2} = 4,77 \frac{W}{m^2}$$

Obteniendo así una densidad de potencia eléctrica para alumbrado de $4,77 W/m^2$.

11.5 Características técnicas entre luminarias de vapor de sodio en alta presión y luminarias LED

En la tabla 20 se indica la comparación que se efectúa entre las luminarias LED y las de vapor de sodio en alta presión.

Tabla 20. Comparación del sistema de iluminación con luminarias LED y vapor de sodio en alta presión

Características	Luminarias LED		Luminarias vapor de sodio de alta presión
	Franja de circulación y plazas de estacionamiento	Acceso	
Número de unidades	18	4	28
Potencia nominal	134 W	245 W	276 W
Balasto	NO	NO	Reactor
Carga instalada	2412 W	980 W	7728 W
Flujo luminoso de la lámpara	22000 lm	40000 lm	28000 lm
Vida útil de la lámpara	100000 horas		28000 horas
Temperatura de color	740 Blanco neutro		220
Eficiencia luminosa	146 lm/W	145 lm/W	78 lm/W
Protección	IP 66		IP 65
Consumo energético	Bajo		Alto
Ahorro energético y económico	Excelente		Bajo
Contaminación del medio ambiente	Ninguno		Alto
Costos de mantenimiento	Bajos		Altos
Índice de reproducción de color (CRI)	≥ 70		20
Índice de temperatura de color (CCT)	4000 Kelvin		2000 Kelvin
Rendimiento fotométrico	Excelente		Bajo

Como se observa en la tabla las luminarias LED poseen una mayor eficiencia luminosa y vida útil en comparación con las de vapor de sodio en alta presión. El número de unidades requeridas para el diseño del alumbrado LED es inferior al sistema de iluminación convencional.

11.6 Cálculo del sistema fotovoltaico autónomo para el abastecimiento del sistema de alumbrado LED del estacionamiento N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi

El proyecto estará situado en la terraza de las instalaciones del bloque antiguo de la U.T.C. y se divide en cinco áreas útiles que se indican en el anexo 24, ocupando el área 1 de 126,83 m² para la ubicación de los equipos del sistema fotovoltaico.

11.6.1 Propuesta para energizar el sistema de alumbrado mediante energía fotovoltaica

Se basa en el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo concentrado que permitirá cubrir la totalidad de la demanda del alumbrado LED sin depender de la red de suministro eléctrico.

11.6.1.1 Estimación de la energía eléctrica diaria

Consiste en cuantificar la potencia que demanda tanto el sistema de iluminación LED así como cada una de las luminarias. En la tabla 21 se presenta el inventario de consumos eléctricos que permitirá obtener el valor de la energía diaria necesaria en el sistema.

Tabla 21. Inventario de consumos eléctricos

Descripción	Potencia (W)	Número de unidades	Uso diario (h)	Potencia total (W)	Energía diaria (Wh)
Iluminación	245	4	12	980	11760
	134	18		2412	28944
Total				3392	40704
					40,704 kWh

Con los datos de la tabla 21 donde se indica el inventario, se determina que el valor de la energía diaria requerida en el sistema es de: $W_d = 40704 \text{ Wh/día}$.

11.6.1.2 Elección del tipo de sistema

Debido a que el alumbrado LED del aparcamiento va a requerir de energía eléctrica en horas de baja insolación y durante la noche, el sistema necesita de acumulación y los consumos se realizan en corriente alterna a 220 V. El voltaje nominal del sistema de acumulación se establece en función de la potencia total que se muestra en el inventario de consumos eléctricos y de los rangos descritos en la tabla 22.

Tabla 22. 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

Fuente. Ecuadomotics

Por lo tanto la tensión nominal (U_n) del banco de baterías es 48 V debido a que la potencia total que hay que suministrar es de 3392 W (véase tabla 21), que se encuentra entre el rango de 2500 W < 5000 W.

11.6.1.3 Dimensionado del generador fotovoltaico

a) Período de diseño

Para el cálculo de los paneles solares, el período de diseño se establecerá para el mes de menor irradiación solar, debido a que el consumo va hacer anual y constante dentro de un lapso de tiempo de 12 horas comprendidas desde las 18:00 pm hasta las 06:00 am.

De la tabla 23 se determina que el mes de peor irradiación en la ubicación del proyecto es Diciembre. Por consiguiente, se escoge este mes para el estudio.

Tabla 23. Insolación global en la ubicación de la Universidad Técnica de Cotopaxi

Mes	kWh/(m ² × día)
Enero	4,18
Febrero	4,12
Marzo	4,41
Abril	4,31
Mayo	4,23
Junio	4,19
Julio	4,43
Agosto	4,51
Septiembre	4,17
Octubre	4,16
Noviembre	4,34
Diciembre	4,04
Promedio	4,26

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 el cantón Latacunga es de $\phi = 0^{\circ}55'04.5''$ Sur , y la insolación global diaria por mes sobre una superficie horizontal es $G_{dm}(0) = 4,04 \text{ kWh} / (m^2 \times \text{día})$ para Diciembre.

- Por lo tanto, la orientación de los paneles será hacia el norte con ángulo acimut de $\alpha = 23^{\circ}$, como se puede apreciar en la Fig. 39.

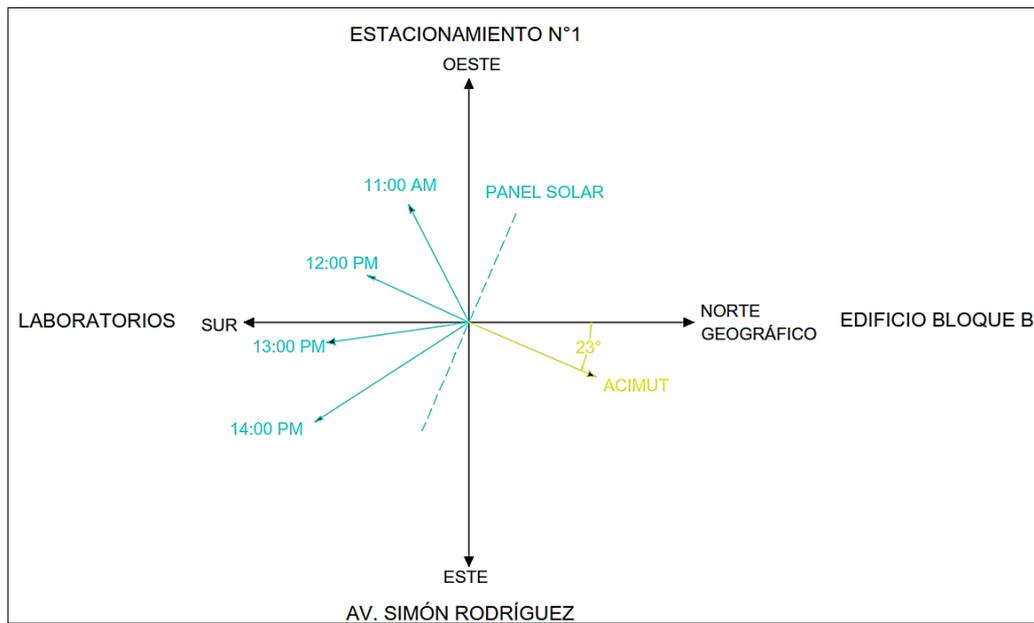


Fig. 39. Ángulo de acimut (α)

- En el caso de la inclinación óptima en el mes de diciembre tenemos:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\phi| = 3,7 + 0,69|0| = 3,7^\circ \approx 4^\circ$$

La constante para el período de diseño será de: $K = 1,7$

- Pero la inclinación real (β) que se le va a dar al generador fotovoltaico será de 15° por mantenimiento (véase Fig. 40) que difiere de la óptima, razón por la cual, se ve necesario aplicar el factor de irradiación (FI).

$$FI = 1 - \left[1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 \right] = 1 - \left[1,2 \times 10^{-4} (15 - 4)^2 \right] = 0,985$$



Fig. 40. Ángulo de inclinación (β)

- De la visita de campo realizada en la localidad del proyecto, se evidencia que las edificaciones adyacentes a la misma no generan ninguna sombra, es decir, que el factor de sombreado $FS = 1$.

- Una vez determinados estos parámetros y constantes, se procede a encontrar el valor medio mensual de irradiación global diaria sobre la superficie del sistema de paneles.

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \times K \times FI \times FS = 4,04 \text{ kWh} / \text{m}^2 \times 1,7 \times 0,985 \times 1$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 6,765 \text{ kWh} / \text{m}^2 = 6764,98 \text{ Wh} / \text{m}^2$$

c) Cálculo de los parámetros eléctricos del generador

Por ser un sistema fotovoltaico autónomo y al decidir suministrar la energía eléctrica en corriente alterna, es necesario contar con un inversor, regulador de carga y banco de baterías. Por consiguiente, el coeficiente que estima el rendimiento energético de la instalación (PR) será de 0,6. Con esta constante se procede a calcular la potencia mínima del generador fotovoltaico.

$$P_{G \min} = \frac{W_d \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR} = \frac{40704 \text{ Wh} \times 1000 \text{ W} / \text{m}^2}{6764,98 \text{ Wh} / \text{m}^2 \times 0,6} = 10028,115 \text{ W}$$

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.

$$P_{G \min} \leq P_G \leq 1,2 \times P_{G \min} \rightarrow 10028,115 \text{ W} \leq P_G \leq 1,2 \times 10028,115 \text{ W} = 12033,738 \text{ W}$$

En la tabla 24 se presenta la hoja de datos del panel solar seleccionado para el presente estudio, cuya elección se hizo considerando que el sistema de acumulación tiene un voltaje nominal de 48 V.

Tabla 24. Hoja de datos del panel solar

Descripción	Valor
Potencia máxima (P_{\max})	360 W
Voltaje nominal del módulo	24 V
Eficiencia del módulo	18,55 %
Corriente Punto de Máxima Potencia (I_{mpp})	9,14 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (U_{mpp})	39,39 V
Corriente en Cortocircuito (I_{sc})	9,69 A
Tensión de Circuito Abierto (U_{oc})	47,65 V
Coefficiente de Temperatura de U_{oc} (β)	- 0,32 % /°C
Células	72 (6 × 12)
Tipo de célula	Monocrystalina 156,75 × 156,75 mm

Con estos datos se procede a calcular el número de módulos que se requieren para lograr la potencia mínima prevista:

$$N_p \times N_s \geq \frac{P_{G \min}}{P_{\max}} = \frac{10028,115 \text{ W}}{360 \text{ W}} = 27,856 \approx 28 \text{ Módulos}$$

El generador fotovoltaico estará conformado por dos sistemas de siete ramas conectadas en paralelo ($N_p = 7$) con dos paneles por rama ($N_s = 2$), teniendo así 14 módulos solares por cada sistema que se conectaran a su respectivo regulador de carga. Con estos factores, los parámetros eléctricos del generador son:

- Potencia total del generador:

$$P_{G1\text{máx}} = P_{G2\text{máx}} = N_p \times P_{\text{máx}} \times N_s = 7 \times 360 \text{ W} \times 2 = 5040 \text{ W}$$

$$P_{G\text{máx}} = 2 \times 5040 \text{ W} = 10080 \text{ W}$$

- Ahora se comprueba que el generador no se encuentre sobredimensionado:

$$10028,115 \text{ W} < 10080 \text{ W} < 12033,738 \text{ W} \rightarrow \text{Correctamente dimensionado}$$

Puesto que se dividió el generador fotovoltaico en dos sistemas de las mismas características, los cálculos que se muestran a continuación se realizan considerando un solo sistema de 14 paneles solares.

- Se calcula la tensión de circuito abierto del generador:

$$U_{G1\text{oc}} = N_s \times U_{\text{oc}} = 2 \times 47,65 \text{ V} = 95,3 \text{ V}$$

- Intensidad de cortocircuito del generador:

$$I_{G1\text{sc}} = N_p \times I_{\text{sc}} = 7 \times 9,69 \text{ A} = 67,83 \text{ A}$$

- Tensión máxima del generador:

$$U_{G1\text{mpp}} = N_s \times U_{\text{mpp}} = 2 \times 39,39 \text{ V} = 78,78 \text{ V}$$

- Intensidad máxima del generador:

$$I_{G1\text{mpp}} = N_p \times I_{\text{mpp}} = 7 \times 9,14 \text{ A} = 63,98 \text{ A}$$

11.6.1.4 Dimensionado del banco de baterías

En la tabla 25 se detallan los datos que se escogen para el presente cálculo, en cuanto a días de autonomía, rendimiento del inversor, del regulador y de la batería, al igual que la profundidad de descarga.

Tabla 25. Datos para el cálculo del banco de baterías

Descripción	Variable	Valor
Días de autonomía	A	1
Rendimiento del inversor	η_{inv}	85 %
Rendimiento del conjunto regulador y batería	η_{rb}	80 %
Profundidad de descarga	$PD_{\text{máx}}$	75 %

- Primeramente se procede a calcular el consumo medio diario en Ah:

$$Q_d = \frac{W_d}{U_n} = \frac{40704 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} = 848 \text{ Ah / día}$$

- Seguidamente, se calcula la capacidad nominal del sistema de acumulación:

$$C_n = \frac{Q_d \times A}{PD_{\text{máx}} \times \eta_{\text{inv}} \times \eta_{\text{rb}}} = \frac{848 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \times 1 \text{ día}}{0,75 \times 0,85 \times 0,80} = 1662,745 \text{ Ah}$$

- Se verifica que el sistema de acumulación no se encuentre sobredimensionado:

$$C_n < 25 \times I_{\text{Gsc}} = 1662,745 \text{ Ah} < 25 \times 135,66 \text{ A} = 3391,5 \text{ A} \rightarrow \text{Correctamente dimensionado}$$

- El sistema de acumulación estará conformado por elementos de 12 V conectados en serie para conseguir la tensión nominal de 48 V, es decir, el número de elementos acumuladores a conectar en serie será:

$$N_{\text{bs}} = \frac{U_n}{U_b} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4 \text{ Baterías en serie}$$

- La capacidad nominal en Ah que debe ofrecer el banco de baterías es elevada, por lo cual, se hace necesario instalar elementos de 240 Ah en paralelo y el número de elementos acumuladores a conectar en paralelo son:

$$N_{\text{bp}} = \frac{C_n}{C_b} = \frac{1662,745 \text{ Ah}}{240 \text{ Ah}} = 6,928 \approx 7 \text{ Baterías en paralelo}$$

Por lo tanto el banco de baterías estará conformado por veintiocho acumuladores ($N_{\text{bs}} \times N_{\text{bp}}$) de 240 Ah/12 V como se puede apreciar en la tabla 26, teniendo una capacidad total de 1680 Ah y cubriendo así el valor (C_n) para el cual se diseñó.

Tabla 26. Especificaciones técnicas de la batería

Descripción	Valor
Voltaje (V)	12
Amperios-Hora	240
Peso (kg)	73,5
Corriente de carga inicial (A)	48
Dimensiones (Largo × Ancho × Alto)	520 × 269 × 208 mm

11.6.1.5 Dimensionado del regulador de carga

La tensión nominal del controlador de carga será igual a la definida para el sistema de acumulación, es decir, $U_n = 48 \text{ V}$.

Para el cálculo de la intensidad nominal del regulador I_R se deberá considerar un factor de seguridad de 1,25.

$$I_{G_{sc}} = 2 \times I_{G1sc} = 2 \times 67,83 \text{ A} = 135,66 \text{ A}$$

$$I_R = 1,25 \times I_{G_{sc}} = 1,25 \times 135,66 \text{ A} = 169,575 \text{ A}$$

Se comprueba que la tensión máxima de entrada U_R no sea inferior a la tensión máxima de circuito abierto del generador $U_{G_{oc}}$, a la temperatura máxima media anual (22,1 °C) y a la temperatura mínima media anual (7 °C), sabiendo que el coeficiente de temperatura de U_{oc} (β %) es de -0,32 % /°C y que el voltaje en circuito abierto del generador en condiciones CEM es $U_{G_{oc}} = 95,3 \text{ V}$:

$$\beta = \frac{\beta(\%)}{100} \times U_{oc} = \frac{-0,32}{100} \times 47,65 \text{ V} = -0,152 \text{ V} / ^\circ\text{C}$$

$$U_R \geq U_{G_{oc}(22,1^\circ\text{C})}$$

$$U_{G_{oc}(22,1^\circ\text{C})} = U_{G_{oc}} + \beta \times (T - 25) = 95,3 \text{ V} + (-0,152 \text{ V}) \times (22,1 - 25) = 95,741 \text{ V}$$

$$U_R \geq U_{G_{oc}(7^\circ\text{C})}$$

$$U_{G_{oc}(7^\circ\text{C})} = U_{G_{oc}} + \beta \times (T - 25) = 95,3 \text{ V} + (-0,152 \text{ V}) \times (7 - 25) = 98,036 \text{ V}$$

Con estos parámetros calculados se procederá a escoger el regulador de carga apropiado, haciendo uso de la tabla 27 donde se presentan los datos técnicos del equipo.

Tabla 27. Especificaciones técnicas controlador de carga

Descripción	Valor
Tensión del sistema	48 V
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 100 V
Corriente del módulo	110 A
Consumos propio	14 mA
Protección contra descarga profunda (SOC/LVD)	< 30 %/44,4 V
Tensión de reconexión (SOC/LVR)	> 50 %/50,4 V
Tipo	PWM

Debido a que I_R es superior a la corriente de entrada de 110 A, dato descrito en la tabla anterior, se deberá instalar reguladores en paralelo:

$$N_{\text{tp}} = \frac{I_R}{I_b} = \frac{169,575 \text{ A}}{110 \text{ A}} = 1,543 \approx 2 \text{ Reguladores en paralelo}$$

Por ende se instalarán dos reguladores en paralelo de 110 A, a cada controlador de carga se conectan siete ramas en paralelo con dos módulos fotovoltaicos por rama y la salida del mismo al banco de baterías, teniendo una capacidad total de 220 A.

11.6.1.6 Dimensionado del inversor

La tensión nominal del inversor será igual a la definida para el sistema de acumulación, es decir, $U_n = 48 \text{ V}$.

La potencia nominal del inversor expresada como aparente será de $S_n = 3392 \text{ VA}$, que se obtiene del inventario de consumos eléctricos (véase tabla 21).

Con estos datos se selecciona un inversor de 48 V/5000 VA que dispone de una eficiencia del 95 %, sus especificaciones técnicas se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Especificaciones técnicas inversor

Descripción	Valor
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17 V 19 – 33 V 38 – 66 V
Salida	Salida: 230 V \pm 2 % / 50/60 Hz \pm 0,1 %
Potencia cont. de salida 25°C (VA)	5000
Potencia cont. de salida 25°C (W)	4000
Eficacia máx.	95 %
Relé programable	Si
Protección	a – g

11.6.1.7 Equipos seleccionados dentro del diseño

A continuación se presenta un resumen de los equipos seleccionados dentro del diseño para el presente sistema fotovoltaico (véase tabla 29).

Tabla 29. Datos técnicos del proyecto

Equipos principales			
Tipo de Equipo	Capacidad	Ítem	Cantidad
Panel fotovoltaico	360	W	28
Batería	240	Ah	28
Regulador de carga	110	A	2
Inversor	5000	VA	1

11.6.1.8 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 Fig. 41.

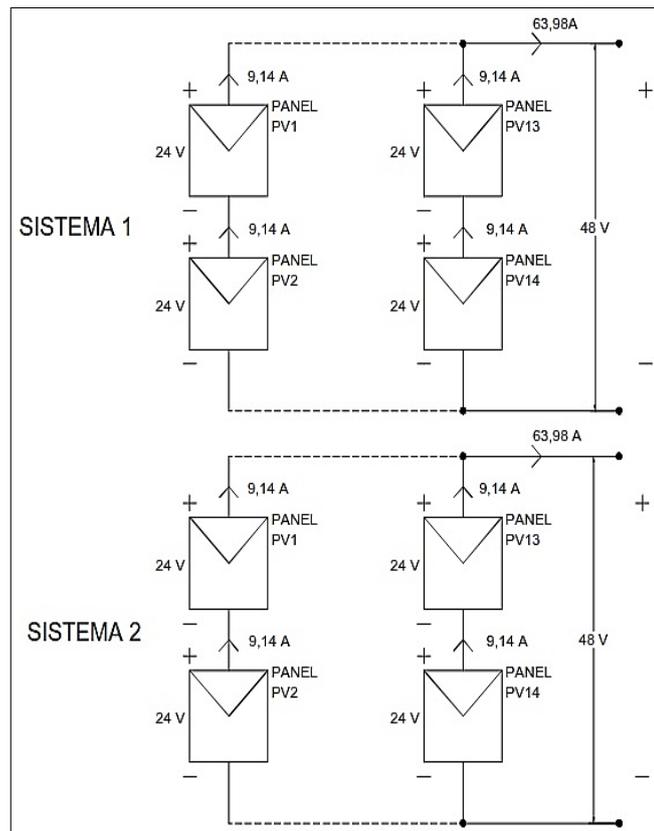


Fig. 41. Conexión serie-paralelo de los paneles solares

11.6.1.9 Esquema de conexión del sistema de acumulación

Los baterías de descarga profunda se encuentran conectadas en una configuración mixta (serie-paralelo) como se puede apreciar en la Fig. 42.

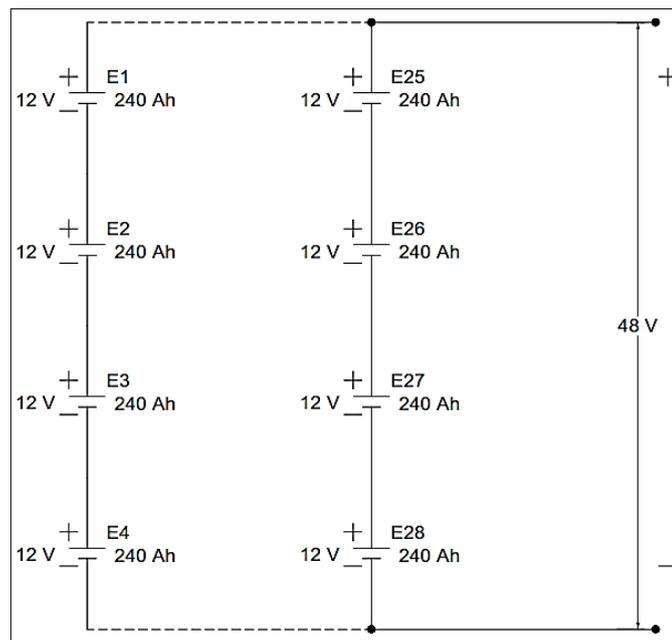


Fig. 42. Conexión serie-paralelo del sistema de acumulación

11.6.1.10 Esquema de conexión del regulador de carga

En la Fig. 43 se indica la asociación en paralelo de los controladores de carga con sus respectivas conexiones al banco de baterías y al generador fotovoltaico.

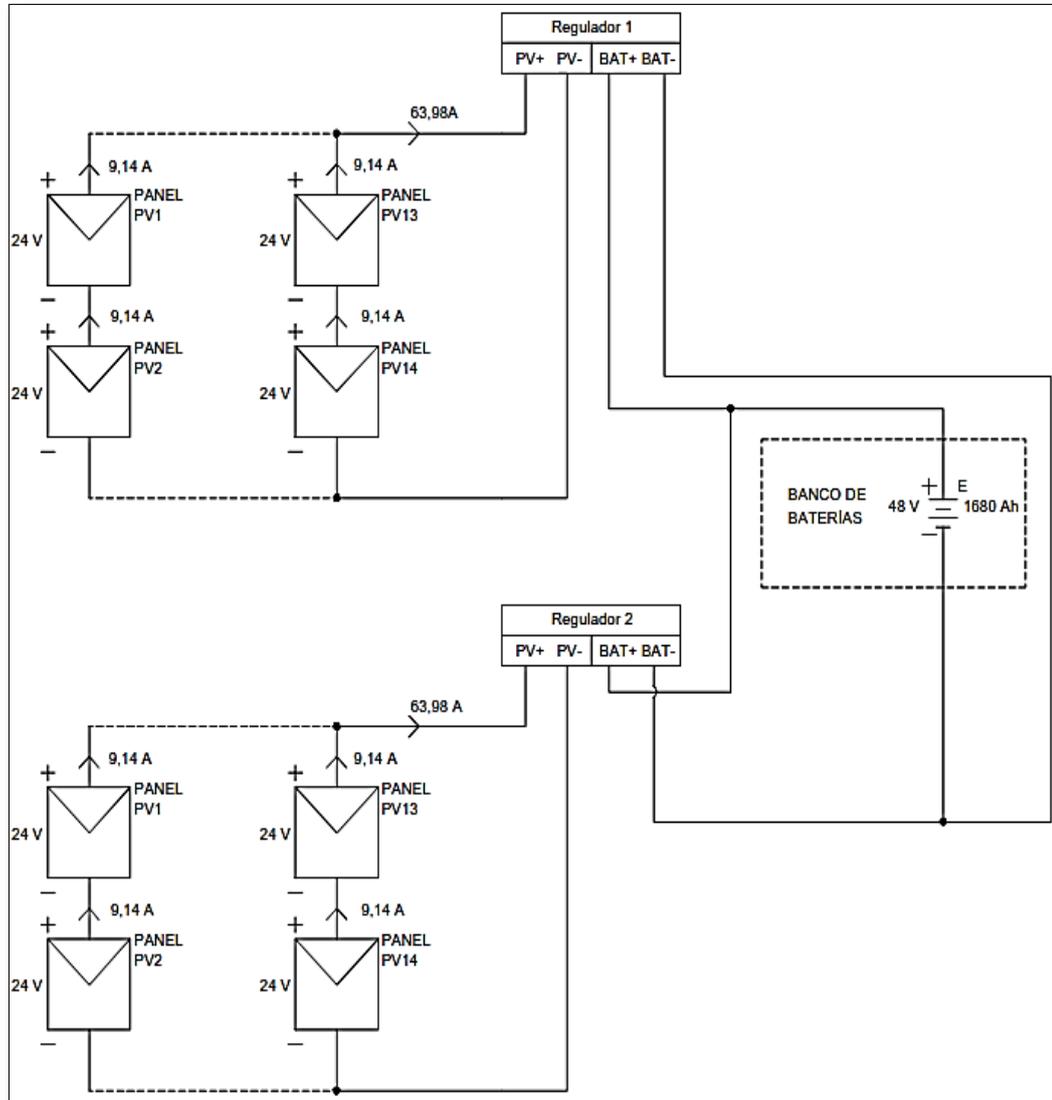


Fig. 43. Conexión en paralelo de los reguladores de carga

11.6.1.11 Cálculo de los conductores y caídas de tensión del sistema fotovoltaico autónomo

- 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 correspondientes a la terraza del bloque antiguo), en la Fig. 44 se presenta un esquema unifilar del sistema fotovoltaico autónomo donde se indican las distancias.

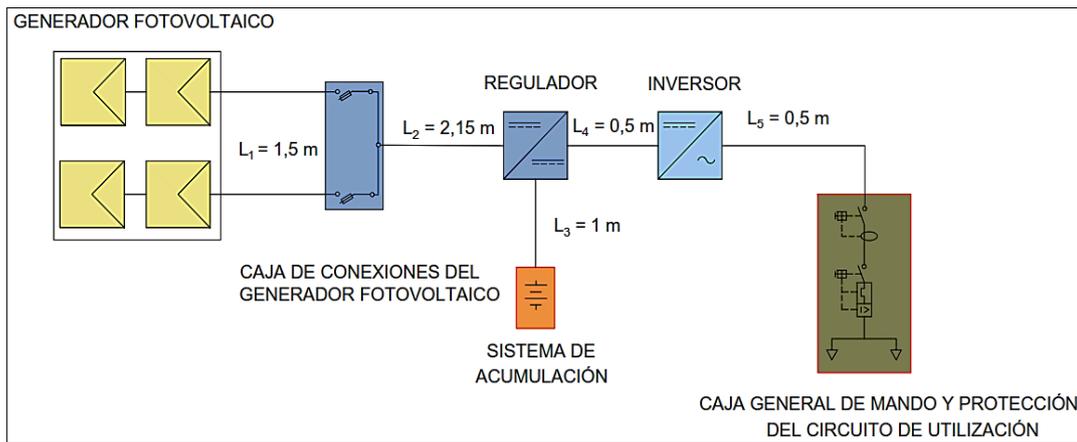


Fig. 44. Esquema unifilar con las longitudes por tramo

- Tramo 1, conexión de los módulos a la caja de conexiones del generador. Se debe considerar primeramente la intensidad de cortocircuito de un panel en condiciones CEM ($I_{sc} = 9,69 \text{ A}$) e igualmente un coeficiente de 1,25.

$$I_1 = 1,25 \times I_{sc} = 1,25 \times 9,69 \text{ A} = 12,113 \text{ A}$$

Longitud del tramo 1: $L_1 = 1,5 \text{ m}$

- Tramo 2, conexión de la caja de conexiones del generador al controlador de carga. Se considera la intensidad de cortocircuito del generador en condiciones CEM ($I_{G1sc} = 67,83 \text{ A}$) y el coeficiente de 1,25.

$$I_2 = 1,25 \times I_{G1sc} = 1,25 \times 67,83 \text{ A} = 84,788 \text{ A}$$

Longitud del tramo 2: $L_2 = 2,15 \text{ m}$

- Tramo 3, conexión del controlador de carga al sistema de acumulación. Se considera la intensidad de cortocircuito del generador en condiciones CEM ($I_{G1sc} = 67,83 \text{ A}$) y el coeficiente de 1,25.

$$I_3 = 1,25 \times I_{G1sc} = 1,25 \times 67,83 \text{ A} = 84,788 \text{ A}$$

Longitud del tramo 3: $L_3 = 1 \text{ m}$

- Tramo 4, conexión del controlador de carga al inversor. Se considera la intensidad de entrada del inversor (I_{invcc}), su potencia nominal ($S_{ninv} = 5000 \text{ VA}$), su rendimiento ($\eta_n = 95 \%$) y la tensión nominal del sistema de acumulación ($U_n = 48 \text{ V}$), conjuntamente con el coeficiente de 1,25 aplicado a I_{invcc} .

$$I_{invcc} = \frac{P_{ninv}}{\eta_n \times U_n} = \frac{5000 \text{ W}}{0,95 \times 48 \text{ V}} = 109,649 \text{ A}$$

$$I_4 = 1,25 \times I_{\text{inv cc}} = 1,25 \times 109,649 \text{ A} = 137,061 \text{ A}$$

Longitud del tramo 4: $L_4 = 0,5 \text{ m}$

- Tramo 5, conexión del inversor con la caja general de mando y protección de la instalación de utilización, que representa un circuito en corriente alterna. Se considera la intensidad de salida del inversor ($I_{\text{inv ca}}$), su potencia nominal ($S_{\text{n inv}} = 5000 \text{ VA}$) y la tensión nominal del sistema de utilización ($U_{\text{n ca}} = 220 \text{ V c.a.}$), conjuntamente con el coeficiente de 1,25 aplicado a $I_{\text{inv ca}}$.

$$I_{\text{inv ca}} = \frac{P_{\text{n inv}}}{U_{\text{n ca}}} = \frac{5000 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 22,727 \text{ A}$$

$$I_5 = 1,25 \times I_{\text{inv ca}} = 1,25 \times 22,727 \text{ A} = 28,409 \text{ A}$$

Longitud del tramo 5: $L_5 = 0,5 \text{ m}$

b) Máxima caída de tensión permitida

Se debe tener en cuenta que el tramo 3, conexión del regulador al banco de baterías, será de menor longitud que los tramos 1-2, y que la trayectoria más desfavorable será en los tramos 1, 2, 4 y 5.

Por consiguiente, la máxima caída de tensión permitida de 1,5 % se la repartirá entre la trayectoria más desfavorable y para el tercer tramo, será la suma de los tramos 1 y 2. Esta designación se la realiza en base al criterio de asignar mayor porcentaje de caída de tensión a los tramos de mayor corriente, proporcionalmente a su longitud.

- Longitud total de la trayectoria más desfavorable (tramos 1,2,4 y 5)

$$L_T = L_1 + L_2 + L_4 + L_5 = (1,5 + 2,15 + 0,5 + 0,5) \text{ m} = 4,65 \text{ m}$$

- Caída de tensión por unidad de longitud:

$$\Delta U_u = \frac{\Delta U_{\%}}{L_T} = \frac{1,5 \text{ \%}}{4,65 \text{ m}} = 0,323 \text{ \% / m}$$

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

Tramo 1:

$$\Delta U_{\%1} = \Delta U_u \times L_1 = 0,323 \frac{\%}{\text{m}} \times 1,5 \text{ m} = 0,485 \text{ \%}$$

Tramo 2:

$$\Delta U_{\%2} = \Delta U_u \times L_2 = 0,323 \frac{\%}{\text{m}} \times 2,15 \text{ m} = 0,694 \text{ \%}$$

Tramo 3:

$$\Delta U_{\%3} = \Delta U_{\%1} \times \Delta U_{\%2} = 0,485 \% + 0,694 \% = 1,18 \%$$

Tramo 4:

$$\Delta U_{\%4} = \Delta U_u \times L_4 = 0,323 \frac{\%}{\text{m}} \times 0,5 \text{ m} = 0,162 \%$$

Tramo 5:

$$\Delta U_{\%5} = \Delta U_u \times L_5 = 0,323 \frac{\%}{\text{m}} \times 0,5 \text{ m} = 0,162 \%$$

- Se procede a comprobar si la caída de tensión en la trayectoria más desfavorable se encuentra dentro de los límites previamente establecidos de 1,5 %.

$$\Delta U_{\%} = \Delta U_{\%1} + \Delta U_{\%2} + \Delta U_{\%4} + \Delta U_{\%5} = 0,485 \% + 0,694 \% + 0,162 \% + 0,162 \% = 1,50 \%$$

c) Método de instalación

En el tramo 1 y 2 se emplea canaleta con tapa y en los tramos 3, 4 y 5 se usara canaleta cerrada que corresponde al método de instalación B1.

d) Tipo de cable

En los tramos 1 y 2, se escoge el cable tipo Exzhellent Solar ZZ-F (AS) y en los tramos 3, 4 y 5, se elige el cable tipo Exzhellent RZ1-K (AS), debido a que este último su aislamiento es de polietileno reticulado tipo XLPE y una cubierta poliolefina.

2) Cálculo por caída de tensión

A continuación se calcula la sección del conductor eléctrico en función de la caída de tensión que se determinó con anterioridad. El factor de potencia para el tramo 5 en corriente alterna se ignora de la ecuación, puesto que se supone 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 cual su valor es de $\gamma_{90} = 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2$.

Tramo 1:

$$S_1 = \frac{200 \times L_1 \times I_1}{\Delta U_{\%1} \times U_n \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 1,5 \text{ m} \times 12,113 \text{ A}}{0,485 \% \times 48 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 3,47 \text{ mm}^2$$

Tramo 2:

$$S_2 = \frac{200 \times L_2 \times I_2}{\Delta U_{\%2} \times U_n \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 2,15 \text{ m} \times 84,788 \text{ A}}{0,694 \% \times 48 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 24,32 \text{ mm}^2$$

Tramo 3:

$$S_3 = \frac{200 \times L_3 \times I_3}{\Delta U_{\%3} \times U_n \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 1 \text{ m} \times 84,788 \text{ A}}{1,18 \% \times 48 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 6,65 \text{ mm}^2$$

Tramo 4:

$$S_4 = \frac{200 \times L_4 \times I_4}{\Delta U_{\%4} \times U_n \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 0,5 \text{ m} \times 137,061 \text{ A}}{0,162 \% \times 48 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 39,17 \text{ mm}^2$$

Tramo 5:

$$S_5 = \frac{200 \times L_5 \times I_5}{\Delta U_{\%5} \times U_n \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 0,5 \text{ m} \times 28,409 \text{ A}}{0,162 \% \times 48 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 8,12 \text{ mm}^2$$

3) Cálculo por calentamiento

Previamente se calculó la sección del conductor por caída de tensión, ahora se lo realizara por calentamiento, para lo cual, se deberá aplicar factores de corrección según sea el caso.

a) Factores de corrección

- Debido a que los tramos 1 y 2 se encuentran instalados en canaleta cerrada se debe considerar una temperatura de 50 °C, por lo tanto, el factor de corrección que se deberá aplicar equivale a 0,89.
- En el tramo 1, que corresponde a la trayectoria módulos - caja de conexiones del sistema fotovoltaico, existen siete circuitos dentro del mismo conducto, por consiguiente, el factor de corrección es de 0,5.
- Como en cada trayectoria o tramo 1 y 2 la instalación se la realiza en canaletas cerradas, ningún conductor queda expuesto a la radiación, es decir, no es necesario aplicar ningún factor de corrección.

Con estos criterios se procede a calcular las nuevas corrientes para los tramos 1 y 2, aplicando los correspondientes factores de corrección.

Tramo 1:

$$I_1 = \frac{12,113 \text{ A}}{0,5 \times 0,89} = 27,22 \text{ A}$$

Tramo 2:

$$I_2 = \frac{84,788 \text{ A}}{0,89} = 95,267 \text{ A}$$

Una vez obtenidos los nuevos valores para las intensidades 1 y 2, a más de considerar que se ocupó el método de instalación B1 con cables cuyo aislamiento es termoestable (XLPE2), se escoge las secciones de los conductores por calentamiento haciendo uso de la tabla 3.

Tramo 1:

$$I_1 = 27,22 \text{ A} \rightarrow S_1 = 4 \text{ mm}^2$$

Tramo 2:

$$I_2 = 95,267 \text{ A} \rightarrow S_2 = 25 \text{ mm}^2$$

Tramo 3:

$$I_3 = 84,788 \text{ A} \rightarrow S_3 = 16 \text{ mm}^2$$

Tramo 4:

$$I_4 = 137,061 \text{ A} \rightarrow S_4 = 50 \text{ mm}^2$$

Tramo 5:

$$I_5 = 28,409 \text{ A} \rightarrow S_5 = 4 \text{ mm}^2$$

4) Determinación de la sección comercial

Con los resultados de las secciones calculadas tanto por caída de tensión como por calentamiento (ver tabla 30), se comparan y se elige la de mayor valor para establecer la sección comercial.

Tabla 30. Secciones de los conductores por caída de tensión y calentamiento

Sección por tramo	Caída de tensión (mm ²)	Calentamiento (mm ²)	Sección comercial (mm ²)
S ₁	3,47	4	4
S ₂	24,321	25	35
S ₃	6,653	16	16
S ₄	39,17	50	50
S ₅	8,12	4	10

11.6.1.12 Aparatos de maniobra y protección para el sistema fotovoltaico autónomo

La seguridad de los usuarios ha sido siempre el principal factor por el cual es necesario implementar protecciones dentro de cualquier diseño, además de ser un proyecto cuyos costos de implementación son elevados, se requiere de dispositivos de maniobra y protección pero considerando que los mismos deberán ser específicos para corriente continua.

- Protección del generador

Puesto que existen siete ramas en paralelo se requiere proteger los módulos contra corrientes inversas y como la caja de conexiones del generador es de fácil acceso para mantenimiento, se elige instalar fusibles en bases portafusibles seccionables.

Su dimensionamiento se lo hará para actuar entre 1,5 a 2 veces la corriente de cortocircuito del panel o módulo (I_{sc}) en condiciones CEM (condiciones estándares de medida) y se deberá comprobar que la tensión asignada al fusible soporte 1,2 veces la tensión de circuito abierto del generador ($U_{G1\ oc}$) igualmente en condiciones CEM.

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

$$I_F = 1,5 \times I_{sc} = 1,5 \times 9,69 \text{ A} = 14,535 \text{ A}$$

$$I_F = 2 \times I_{sc} = 2 \times 9,69 \text{ A} = 19,38 \text{ A}$$

$$U_F = 1,2 \times U_{G1\ oc} = 1,2 \times 95,3 \text{ V} = 114,36 \text{ V}$$

Con estos factores se escoge un cartucho fusible de 15 A/ 1100 V DC (gPV) cilíndrico de 14 × 51 mm.

- Interruptor general del sistema fotovoltaico

Las ramas en paralelo del sistema fotovoltaico y este mismo dispondrán de un interruptor general que permita la desconexión del resto de la instalación.

Su dimensionamiento se lo hace para que soporte la corriente de cortocircuito del generador ($I_{G1\ sc}$) en condiciones CEM y la tensión de circuito abierto del generador ($U_{G1\ oc}$) en condiciones CEM.

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

$$I_n \geq I_{G1\ sc} = 67,83 \text{ A}$$

$$U_n \geq U_{G1\ oc} = 95,3 \text{ V}$$

Por lo tanto se escoge un interruptor seccionador bipolar de 100 A/ 1000 V DC

- Protección de la batería de acumuladores

Debido a que en el tramo de conexión regulador-baterías se puede presentar corrientes sumamente elevadas de cortocircuito, se instalará una base portafusibles en el positivo con su respectivo cartucho fusible.

El dimensionamiento del fusible se lo hará para actuar entre 1,5 a 2 veces la corriente de cortocircuito del generador ($I_{G1\ sc}$) en condiciones CEM y se deberá verificar que la tensión asignada al dispositivo soporte 1,2 veces la tensión de circuito abierto del generador ($U_{G1\ oc}$) en condiciones CEM.

$$I_F = 1,5 \times I_{G1\ sc} = 1,5 \times 67,83 \text{ A} = 101,745 \text{ A}$$

$$I_F = 2 \times I_{G1\ sc} = 2 \times 67,83 \text{ A} = 135,66 \text{ A}$$

$$U_F = 1,2 \times U_{G1\ oc} = 1,2 \times 95,3 \text{ V} = 114,36 \text{ V}$$

Con estos factores se escoge un cartucho fusible de 110 A/1000 V DC (gPV).

- Protección del inversor

Debido a que este trayecto es en corriente alterna, se deberá instalar interruptores magnetotérmicos y un interruptor diferencial. Dichos dispositivos cumplirán con las siguientes características:

$$I_n \geq I_{inv\ ca} = 22,727 \text{ A}$$

$$U_n = 220 \text{ V}$$

Es así que, se elige un interruptor automático bipolar de 25 A/230 V.

Un interruptor diferencial bipolar de 25 A/240 V, con una sensibilidad de 30 mA.

- Sistema de puesta a tierra

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^2 y asegurarlo por medio de una tuerca. El otro extremo del cable se conectara en las bornas 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^2 de cobre para el sistema fotovoltaico.
- Cable de sección $8,37 \text{ mm}^2$ para la edificación.
- Electrodo de varilla (Copperwelt).
- Conector GKP.
- Intensificador de tierra.

11.6.1.13 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. Identificar el sitio de la instalación conlleva a determinar el tipo de estructura a implementar, en el caso del presente diseño, se dispone de un espacio considerable en la terraza del bloque antiguo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cuya superficie es horizontal lo que representa una mayor facilidad de montaje. Debido a que se pueden presentar modificaciones en las instalaciones del edificio, la estructura de soporte será de tipo móvil, que permita variar el ángulo de inclinación en función de la superficie teniendo en cuenta que la misma estará situada a la intemperie.

11.6.1.14 Sistema de respaldo para el suministro eléctrico al circuito de utilización

Con la finalidad de incrementar la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica al sistema de iluminación mediante tecnología LED, en casos donde el sistema de acumulación no cuente con la energía eléctrica necesaria, se hace uso del sistema de distribución de energía eléctrica mediante un circuito de transferencia de carga.

11.6.1.15 Cálculo de los conductores y caídas de tensión del circuito de utilización

1) Recopilación de datos

- a) Corrientes y longitudes de los diferentes tramos que componen el circuito de iluminación 1 (las longitudes se han tomado en base al plano del estacionamiento), en la Fig. 45 se indica la denominación que se le ha asignado a cada carga (luminaria LED) y en la Fig. 46 se detallan las distancias de la presente trayectoria que es la más desfavorable.

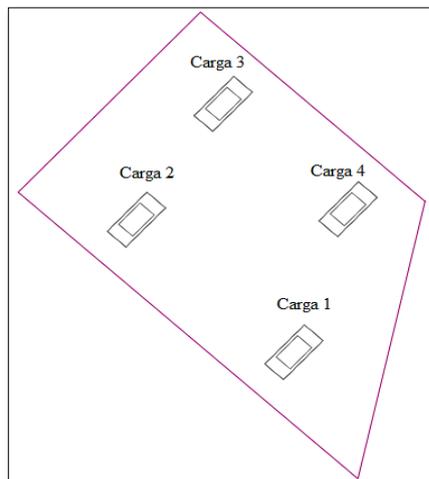


Fig. 45. Denominación de las cargas

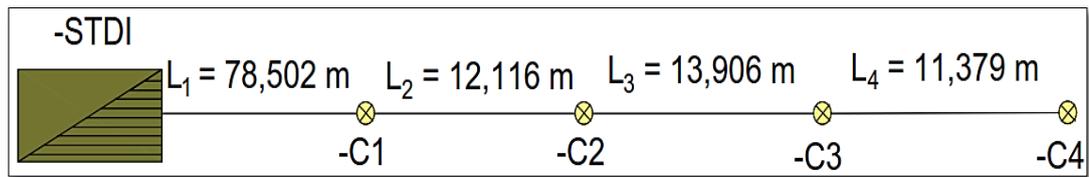


Fig. 46. Longitudes del circuito de iluminación 1

- Para los tramos 1, 2, 3 y 4 se considera la corriente que circula por la trayectoria del tramo (I_C), la potencia nominal de la carga ($P_{n\ C} = 245\ \text{W}$) y la tensión nominal del sistema de utilización ($U_{n\ ca} = 220\ \text{V c.a.}$), conjuntamente con el coeficiente de 1,25 aplicado a I_C .

Debido a que cada carga posee las mismas características en potencia y voltaje, la corriente será igual en cada tramo.

$$I_C = \frac{P_{n\ C}}{U_{n\ ca}} = \frac{245\ \text{W}}{220\ \text{V}} = 1,114\ \text{A}$$

$$I = 1,25 \times I_C = 1,25 \times 1,114\ \text{A} = 1,393\ \text{A}$$

Tramo 1, conexión del subtablero de distribución interna (STDI) a la luminaria 1, longitud $L_1 = 78,502\ \text{m}$.

Tramo 2, conexión de la luminaria 1 a la luminaria 2, longitud $L_2 = 12,116\ \text{m}$.

Tramo 3, conexión de la luminaria 2 a la luminaria 3, longitud $L_3 = 13,902\ \text{m}$.

Tramo 4, conexión de la luminaria 3 a la luminaria 4, longitud $L_4 = 11,379\ \text{m}$.

b) Máxima caída de tensión permitida

Desde el subtablero de distribución interna hasta el último punto de la instalación (carga 4), la máxima caída de tensión permitida no podrá ser mayor a 3 %. Para el presente circuito de iluminación se empleara un cable de 0,6/1 kV de tensión asignada y conductores de cobre, propio para redes subterráneas con una sección $S = 1,5\ \text{mm}^2$ y la conductividad del cable se toma a la temperatura de servicio correspondiente a $90\ ^\circ\text{C}$ para aislamiento termoestable, por lo cual su valor es de $\gamma_{90} = 45\ \text{s} \times \text{m} / \text{mm}^2$.

El factor de potencia para el caso de las luminarias provistas de tecnología LED corresponderá a $\cos\phi = 1$, por esta razón, este término no se considera dentro del cálculo. Una vez conocidos estos parámetros se procede a determinar la caída de tensión en cada tramo.

Tramo 1:

$$\Delta U_{\%1} = \frac{200 \times L_1 \times I}{S \times U_{nca} \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 78,502 \text{ m} \times 1,392 \text{ A}}{1,5 \text{ mm}^2 \times 220 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 1,472 \%$$

Tramo 2:

$$\Delta U_{\%2} = \frac{200 \times L_2 \times I}{S \times U_{nca} \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 12,116 \text{ m} \times 1,392 \text{ A}}{1,5 \text{ mm}^2 \times 220 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 0,227 \%$$

Tramo 3:

$$\Delta U_{\%3} = \frac{200 \times L_3 \times I}{S \times U_{nca} \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 13,902 \text{ m} \times 1,392 \text{ A}}{1,5 \text{ mm}^2 \times 220 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 0,261 \%$$

Tramo 4:

$$\Delta U_{\%4} = \frac{200 \times L_4 \times I}{S \times U_{nca} \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 11,379 \text{ m} \times 1,392 \text{ A}}{1,5 \text{ mm}^2 \times 220 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 0,213 \%$$

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

$$\Delta U_{\%} = \Delta U_{\%1} + \Delta U_{\%2} + \Delta U_{\%4} = 1,472 \% + 0,227 \% + 0,261 \% + 0,213 \% = 2,17 \%$$

11.6.1.16 Interruptores automáticos magnetotérmicos o breakers del circuito de utilización

El número de interruptores existentes para el control del sistema de alumbrado LED del estacionamiento N° 1 de la U.T.C. serán cuatro, distribuyendo equitativamente las cargas por dispositivo.

El primer interruptor controlará cuatro luminarias de 245 W, los restantes controlarán un total de seis luminarias de 134 W respectivamente. Para su dimensionamiento dichos dispositivos deberán cumplir con las siguientes características:

$$I_{CT} = \frac{P_{CT}}{U_{nca}} = \frac{4 \times 245 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 4,455 \text{ A}$$

$$I_n \geq I_{CT} = 4,455 \text{ A}$$

$$U_n = 220 \text{ V}$$

Es así que se elige un interruptor automático magnetotérmico bipolar de 6 A/230 V.

11.7 Diseño de un sistema de alumbrado LED solar

En el capítulo anterior se llevó a cabo el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico concentrado, y a continuación se analiza una alternativa que consiste principalmente en la reducción del espacio de instalación, es decir, cada luminaria dispondrá de su propio sistema de energización.

11.7.1 Dimensionamiento del generador solar para las luminarias ubicadas en el acceso al estacionamiento

El aparcamiento cuenta con cuatro lámparas LED de 245 W de las mismas características tanto técnicas como de construcción, es por ello que, el diseño de esta propuesta se lo realiza para una sola luminaria.

11.7.1.1 Estimación de la energía eléctrica diaria

En la tabla 31 se presenta el inventario de consumos eléctricos que permitirá obtener el valor de la energía diaria necesaria.

Tabla 31. Inventario de consumos eléctricos

Descripción	Potencia (W)	Número de unidades	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
Iluminación	245	1	12	2940

Con estos datos se estima que el valor de la energía diaria requerida en el sistema es de: $W_d = 2940 \text{ Wh/día}$.

11.7.1.2 Elección del tipo de sistema

El sistema requiere de acumulación para las horas nocturnas o de baja insolación y los consumos eléctricos se efectúan en corriente continua. De ahí que, la tensión nominal (U_n) del banco de baterías es 12 V, según la tabla 22.

11.7.1.3 Dimensionado del generador fotovoltaico

b) Período de diseño

Según la tabla 23 se determina que el mes de peor irradiación en la ubicación del proyecto es Diciembre. Por consiguiente, se escoge este mes para el período de diseño.

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

Puesto que los datos correspondientes a: período de diseño, latitud, irradiación global diaria por mes sobre una superficie horizontal ($G_{d(0)}$), orientación, inclinación, constante K, factor

de irradiación (FI), factor de sombreado (FS) y el valor medio mensual de irradiación global diaria sobre la superficie del generador $G_{dm}(\alpha, \beta)$, no se alteran en lo absoluto, se utilizan los resultados descritos en el apartado **11.6.1.3** para efectos de cálculo.

d) Cálculo de los parámetros eléctricos del generador

Al suministrar la energía eléctrica en corriente continua, es necesario contar con un regulador de carga y el sistema de acumulación. Por consiguiente, el coeficiente que estima el rendimiento energético de la instalación (PR) será de 0,7. Con esta constante se procede a calcular la potencia mínima del generador fotovoltaico.

$$P_{G \min} = \frac{W_d \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR} = \frac{2940 \text{ Wh} \times 1000 \text{ W/m}^2}{6764,98 \text{ Wh/m}^2 \times 0,7} = 620,844 \text{ W}$$

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 $P_{G \min}$.

$$P_{G \min} \leq P_G \leq 1,2 \times P_{G \min} \rightarrow 620,844 \text{ W} \leq P_G \leq 1,2 \times 620,844 \text{ W} = 745,013 \text{ W}$$

Debido a que el sistema de acumulación tiene un voltaje nominal de 12 V y requiere de un módulo solar de 36 células, se hace uso de los datos técnicos descritos en la tabla 32 para el presente diseño.

Tabla 32. Hoja de datos del panel solar

Descripción	Valor
Potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$)	175 W
Voltaje nominal del módulo	12 V
Corriente Punto de Máxima Potencia (I_{mpp})	9,03 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (U_{mpp})	19,40 V
Corriente en Cortocircuito (I_{sc})	9,89 A
Tensión de Circuito Abierto (U_{oc})	23,70 V
Coefficiente de Temperatura de U_{oc} (β)	- 0,35 % /°C
Cantidad de celdas en serie	36
Tipo de celda	Monocristalina

Con estos datos se procede a calcular el número de módulos que se requieren para lograr la potencia mínima prevista:

$$N_p \times N_s \geq \frac{P_{G \min}}{P_{m\acute{a}x}} = \frac{620,844 \text{ W}}{175 \text{ W}} = 3,548 \approx 4 \text{ Módulos}$$

El sistema fotovoltaico tendrá cuatro ramas conectadas en paralelo ($N_p = 4$) con un único panel por rama ($N_s = 1$). Con estos factores, los parámetros eléctricos del generador son:

Potencia total del generador: $P_{G_{\text{máx}}} = N_p \times P_{\text{máx}} \times N_s = 4 \times 175 \text{ W} \times 1 = 700 \text{ W}$

Ahora se comprueba que el generador no se encuentre sobredimensionado:

$$620,844 \text{ W} < 700 \text{ W} < 745,013 \text{ W} \rightarrow \text{Correctamente dimensionado}$$

Tensión de circuito abierto del generador:

$$U_{G_{\text{oc}}} = N_s \times U_{\text{oc}} = 1 \times 23,70 \text{ V} = 23,70 \text{ V}$$

Intensidad de cortocircuito del generador:

$$I_{G_{\text{sc}}} = N_p \times I_{\text{sc}} = 4 \times 9,89 \text{ A} = 39,56 \text{ A}$$

Tensión máxima del generador:

$$U_{G_{\text{mpp}}} = N_s \times U_{\text{mpp}} = 1 \times 19,40 \text{ V} = 19,40 \text{ V}$$

Intensidad máxima del generador:

$$I_{G_{\text{mpp}}} = N_p \times I_{\text{mpp}} = 4 \times 9,03 \text{ A} = 36,12 \text{ A}$$

11.7.1.4 Dimensionado del banco de baterías

Se hace uso de la tabla 25 donde se establecen los datos en cuanto a días de autonomía, rendimiento del regulador y de la batería, al igual que la profundidad de descarga. En este caso como el sistema carece de inversor, debido a que se va a energizar las luminarias en corriente continua, el rendimiento del mismo se descarta para el cálculo.

Primeramente se procede a calcular el consumo medio diario en Ah:

$$Q_d = \frac{W_d}{U_n} = \frac{2940 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 245 \text{ Ah / día}$$

Seguidamente, se calcula la capacidad nominal del sistema de acumulación:

$$C_n = \frac{Q_d \times A}{PD_{\text{máx}} \times \eta_{rb}} = \frac{245 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \times 1 \text{ día}}{0,75 \times 0,80} = 408,333 \text{ Ah}$$

Se verifica que el sistema de acumulación no se encuentre sobredimensionado:

$$C_n < 25 \times I_{G_{\text{sc}}} = 408,333 \text{ Ah} < 25 \times 39,56 \text{ A} = 989 \text{ A} \rightarrow \text{Correctamente dimensionado}$$

Para la correcta elección del elemento acumulador se muestra en la tabla 33 sus especificaciones técnicas:

Tabla 33. Especificaciones técnicas de la batería

Descripción	Valor
Voltaje	12 V
Amperios-Hora	220
Profundidad de descarga (80 %)	400 ciclos
Dimensiones (Largo × Ancho × Alto)	520 × 238 × 240 mm

Al ser la batería de descarga profunda y 12 V de tensión nominal, no se requiere conectar elementos en serie. La capacidad nominal en Ah que debe ofrecer el banco de baterías es elevada, por lo cual, se hace necesario instalar elementos de 220 Ah en paralelo y el número de elementos acumuladores a conectar en paralelo son:

$$N_{bp} = \frac{C_n}{C_b} = \frac{408,333 \text{ Ah}}{220 \text{ Ah}} = 1,856 \approx 2 \text{ Baterías en paralelo}$$

Por lo tanto el banco de baterías estará conformado por dos acumuladores en paralelo de 220 Ah/12 V, con un total de 440 Ah y cubriendo así el valor (C_n) para el cual se diseñó.

11.7.1.5 Dimensionado del regulador de carga

La tensión nominal del controlador de carga será igual a la definida para el sistema de acumulación, es decir, $U_n = 12 \text{ V}$.

Para el cálculo de la intensidad nominal del regulador I_R se deberá considerar un factor de seguridad de 1,25.

$$I_R = 1,25 \times I_{G_{sc}} = 1,25 \times 39,56 \text{ A} = 49,45 \text{ A}$$

Se comprueba que la tensión máxima de entrada U_R no sea inferior a la tensión máxima de circuito abierto del generador $U_{G_{oc}}$, a la temperatura máxima media anual (22,1 °C) y a la temperatura mínima media anual (7 °C), sabiendo que el coeficiente de temperatura de U_{oc} (β %) es de -0,35 % /°C y que el voltaje en circuito abierto del generador en condiciones CEM es $U_{G_{oc}} = 23,70 \text{ V}$:

$$\beta = \frac{\beta(\%)}{100} \times U_{oc} = \frac{-0,35}{100} \times 23,70 \text{ V} = -0,083 \text{ V} / ^\circ\text{C}$$

$$U_R \geq U_{G_{oc}(22,1^\circ\text{C})}$$

$$U_{G_{oc}(22,1^\circ\text{C})} = U_{G_{oc}} + \beta \times (T - 25) = 23,70 \text{ V} + (-0,083 \text{ V}) \times (22,1 - 25) = 23,941 \text{ V}$$

$$U_R \geq U_{G_{oc}(7^\circ\text{C})}$$

$$U_{G_{oc}(7^\circ\text{C})} = U_{G_{oc}} + \beta \times (T - 25) = 23,70 \text{ V} + (-0,083 \text{ V}) \times (7 - 25) = 25,194 \text{ V}$$

Con estos factores se procederá a escoger el regulador de carga apropiado, haciendo uso de la tabla 34 donde se presentan los datos técnicos del equipo.

Tabla 34. Especificaciones técnicas controlador de carga

Descripción	Valor
Tensión del sistema	12 V
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 50 V
Corriente del módulo	70 A
Protección contra descarga profunda (SOC/LVD)	< 30 %/11,1 V (22,2 V)
Tensión de reconexión (SOC/LVR)	> 50 %/12,6 V (25,2 V)
Tipo	PWM

Por ende se instalara un regulador que admite una corriente de entrada equivalente a 70 A, misma que es superior a I_R . La tensión máxima de entrada es superior a la tensión máxima de circuito abierto del generador $U_{G_{oc}}$, a la temperatura máxima y mínima media anual.

11.7.1.6 Equipos seleccionados dentro del diseño

A continuación se presenta un resumen de los equipos seleccionados dentro del diseño para el presente sistema fotovoltaico (véase tabla 35).

Tabla 35. Equipos seleccionados en el diseño

Equipo	Capacidad	Ítem	Cantidad
Panel fotovoltaico	175	W	4
Batería	220	Ah	2
Regulador de carga	70	A	1

11.7.2 Dimensionamiento del generador solar para las luminarias ubicadas en franjas de circulación y plazas de estacionamiento.

El aparcamiento cuenta con dieciocho lámparas LED de 134 W de las mismas características tanto técnicas como de construcción, es por ello que, el diseño de esta propuesta se lo realiza para una sola luminaria.

11.7.2.1 Estimación de la energía eléctrica diaria

En la tabla 36 se presenta el inventario de consumos eléctricos que permitirá obtener el valor de la energía diaria necesaria.

Tabla 36. Inventario de consumos eléctricos

Descripción	Potencia (W)	Número de unidades	Uso diario (h)	Energía diaria (Wh)
Iluminación	134	1	12	1608

Con estos datos se estima que el valor de la energía diaria requerida en el sistema es de: $W_d = 1608 \text{ Wh/día}$ y la tensión nominal (U_n) del banco de baterías es 12 V (véase tabla 22).

11.7.2.2 Dimensionado del generador fotovoltaico

a) Cálculo de los parámetros eléctricos del generador

Se procede a calcular la potencia mínima del generador fotovoltaico:

$$P_{G \min} = \frac{W_d \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR} = \frac{1608 \text{ Wh} \times 1000 \text{ W/m}^2}{6764,98 \text{ Wh/m}^2 \times 0,7} = 339,564 \text{ W}$$

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 $P_{G \min}$.

$$P_{G \min} \leq P_G \leq 1,2 \times P_{G \min} \rightarrow 339,564 \text{ W} \leq P_G \leq 1,2 \times 339,564 \text{ W} = 407,477 \text{ W}$$

Debido a que el sistema de acumulación tiene un voltaje nominal de 12 V y requiere de un módulo solar de 36 células, se hace uso de los datos técnicos descritos en la tabla 32 para el presente diseño.

Con estos datos se procede a calcular el número de módulos que se requieren para lograr la potencia mínima prevista:

$$N_p \times N_s \geq \frac{P_{G \min}}{P_{\max}} = \frac{339,564 \text{ W}}{175 \text{ W}} = 1,940 \approx 2 \text{ Módulos}$$

El sistema fotovoltaico tendrá dos ramas conectadas en paralelo ($N_p = 2$) con un único panel por rama ($N_s = 1$). Con estos factores, los parámetros eléctricos del generador son:

$$\text{Potencia total del generador: } P_{G \max} = N_p \times P_{\max} \times N_s = 2 \times 175 \text{ W} \times 1 = 350 \text{ W}$$

Ahora se comprueba que el generador no se encuentre sobredimensionado:

$$339,564 \text{ W} < 350 \text{ W} < 407,477 \text{ W} \rightarrow \text{Correctamente dimensionado}$$

Tensión de circuito abierto del generador:

$$U_{G \text{ oc}} = N_s \times U_{\text{oc}} = 1 \times 23,70 \text{ V} = 23,70 \text{ V}$$

Intensidad de cortocircuito del generador:

$$I_{G \text{ sc}} = N_p \times I_{\text{sc}} = 2 \times 9,89 \text{ A} = 19,78 \text{ A}$$

Tensión máxima del generador:

$$U_{G \text{ mpp}} = N_s \times U_{\text{mpp}} = 1 \times 19,40 \text{ V} = 19,40 \text{ V}$$

Intensidad máxima del generador:

$$I_{G \text{ mpp}} = N_p \times I_{\text{mpp}} = 2 \times 9,03 \text{ A} = 18,06 \text{ A}$$

11.7.2.3 Dimensionado del banco de baterías

Se hace uso de la tabla 25 donde se establecen los datos en cuanto a días de autonomía, rendimiento del regulador y de la batería, al igual que la profundidad de descarga. Igualmente como el sistema carece de inversor, debido a que se va a energizar las luminarias en corriente continua, el rendimiento del mismo se descarta para el cálculo.

Primeramente se procede a calcular el consumo medio diario en Ah:

$$Q_d = \frac{W_d}{U_n} = \frac{1608 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 134 \text{ Ah / día}$$

Seguidamente, se calcula la capacidad nominal del sistema de acumulación:

$$C_n = \frac{Q_d \times A}{PD_{\text{máx}} \times \eta_{rb}} = \frac{134 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \times 1 \text{ día}}{0,75 \times 0,80} = 223,333 \text{ Ah}$$

Se verifica que el sistema de acumulación no se encuentre sobredimensionado:

$$C_n < 25 \times I_{G_{sc}} = 223,333 \text{ Ah} < 25 \times 19,78 \text{ A} = 494,50 \text{ A} \rightarrow \text{Correctamente dimensionado}$$

Para la correcta elección del elemento acumulador se hace uso de la tabla 37 donde se indican sus especificaciones técnicas:

Tabla 37. Especificaciones técnicas de la batería

Descripción	Valor
Voltaje	12 V
Amperios-Hora	240
Peso (kg)	67
Profundidad de descarga (80 %)	400 ciclos
Dimensiones (Largo × Ancho × Alto)	522 × 240 × 224 mm

Al ser la batería de 12 V/240 Ah de tensión nominal y capacidad respectivamente, no se requiere conectar elementos en serie o paralelo.

11.7.2.4 Dimensionado del regulador de carga

La tensión nominal del controlador de carga será igual a la definida para el sistema de acumulación, es decir, $U_n = 12 \text{ V}$.

Para el cálculo de la intensidad nominal del regulador I_R se deberá considerar un factor de seguridad de 1,25.

$$I_R = 1,25 \times I_{G_{sc}} = 1,25 \times 19,78 \text{ A} = 24,725 \text{ A}$$

Se comprueba que la tensión máxima de entrada U_R no sea inferior a la tensión máxima de circuito abierto del generador $U_{G_{oc}}$, a la temperatura máxima media anual (22,1 °C) y a la temperatura mínima media anual (7 °C), sabiendo que el coeficiente de temperatura de U_{oc} (β %) es de -0,35 % /°C y que el voltaje en circuito abierto del generador en condiciones CEM es $U_{G_{oc}} = 23,70$ V:

$$\beta = \frac{\beta(\%)}{100} \times U_{oc} = \frac{-0.35}{100} \times 23,70 \text{ V} = -0.083 \text{ V} / ^\circ\text{C}$$

$$U_R \geq U_{G_{oc}(22,1^\circ\text{C})}$$

$$U_{G_{oc}(22,1^\circ\text{C})} = U_{G_{oc}} + \beta \times (T - 25) = 23,70 \text{ V} + (-0.083 \text{ V}) \times (22,1 - 25) = 23,941 \text{ V}$$

$$U_R \geq U_{G_{oc}(7^\circ\text{C})}$$

$$U_{G_{oc}(7^\circ\text{C})} = U_{G_{oc}} + \beta \times (T - 25) = 23,70 \text{ V} + (-0.083 \text{ V}) \times (7 - 25) = 25,194 \text{ V}$$

Con estos factores se procederá a escoger el regulador de carga apropiado, haciendo uso de la tabla 38 donde se presentan los datos técnicos del equipo.

Tabla 38. Especificaciones técnicas controlador de carga

Descripción	Valor
Tensión del sistema	12 V
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 47 V
Corriente del módulo	25 A
Protección contra descarga profunda (LVD)	11,2 V ... 11,6 V (22,4 V ... 23,2 V)
Tensión de reconexión (LVR)	12,4 V ... 12,7 V (24,8 V ... 25,4 V)
Tipo	PWM

Por ende se instalara un regulador que admite una corriente de entrada equivalente a 25 A, misma que es superior a I_R . La tensión máxima de entrada es superior a la tensión máxima de circuito abierto del generador $U_{G_{oc}}$, a la temperatura máxima y mínima media anual.

11.7.2.5 Equipos seleccionados dentro del diseño

A continuación se presenta un resumen de los equipos seleccionados dentro del diseño para el presente sistema fotovoltaico (véase tabla 39).

Tabla 39. Equipos seleccionados en el diseño

Equipo	Capacidad	Ítem	Cantidad
Panel fotovoltaico	175	W	2
Batería	240	Ah	1
Regulador de carga	25	A	1

11.7.3 Listado de la totalidad de los equipos necesarios para energizar el sistema de alumbrado LED.

Puesto que el dimensionamiento se lo realizó para una sola luminaria en base a la potencia nominal de la misma, la tabla 40 indica la totalidad de los equipos necesarios para energizar el sistema de iluminación.

Tabla 40. Listado de la totalidad de equipos seleccionados

Equipo	Capacidad	Ítem	Cantidad
Luminaria de 245 W			
Panel fotovoltaico	175	W	16
Batería	220	Ah	8
Regulador de carga	70	A	4
Luminaria de 134 W			
Panel fotovoltaico	175	W	36
Batería	240	Ah	18
Regulador de carga	25	A	18

11.7.4 Cálculo de los conductores y caídas de tensión del sistema de luminarias ubicadas en el acceso al estacionamiento

1) Recopilación de datos

a) Corrientes y longitudes de los diferentes tramos que componen el sistema de alumbrado solar.

- Tramo 1 y 2, conexión del generador al controlador de carga y del controlador al sistema de acumulación respectivamente, se considera la intensidad de cortocircuito del generador en condiciones CEM ($I_{G\ sc} = 39,56\text{ A}$) y el coeficiente de 1,25.

$$I_1 = I_2 = 1,25 \times I_{G\ sc} = 1,25 \times 39,56\text{ A} = 49,45\text{ A}$$

Longitud del tramo 1: $L_1 = 1\text{ m}$

Longitud del tramo 2: $L_2 = 7,5\text{ m}$

- Tramo 3, conexión del controlador de carga a la luminaria LED, se toman en cuenta la corriente de entrada a la luminaria ($I_{lum\ cc}$), su potencia nominal ($P_{n\ lum} = 245\text{ W}$) y la tensión nominal del sistema de acumulación ($U_n = 12\text{ V}$), conjuntamente con el coeficiente de 1,25 aplicado a $I_{lum\ cc}$.

$$I_{lum\ cc} = \frac{P_{n\ lum}}{U_n} = \frac{245\text{ W}}{12\text{ V}} = 20,417\text{ A}$$

$$I_3 = 1,25 \times I_{lum} = 1,25 \times 20,417\text{ A} = 25,521\text{ A}$$

Longitud del tramo 3: $L_3 = 1\text{ m}$

b) Máxima caída de tensión permitida

Desde el generador fotovoltaico hasta el último punto de la instalación (luminaria LED), la máxima caída de tensión permitida no podrá ser mayor a 1,5 %. Para el presente circuito de iluminación se empleará un cable tipo Exzhellent Solar ZZ-F (AS) con una sección $S = 120 \text{ mm}^2$ y la conductividad del cable se toma a la temperatura de servicio correspondiente a $90 \text{ }^\circ\text{C}$ para aislamiento termoestable, por lo cual su valor es de $\gamma_{90} = 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2$. Una vez conocidos estos parámetros se procede a determinar la caída de tensión en cada tramo.

Tramo 1:

$$\Delta U_{\%1} = \frac{200 \times L_1 \times I_1}{S \times U_n \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 1 \text{ m} \times 49,45 \text{ A}}{120 \text{ mm}^2 \times 12 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 0,153 \%$$

Tramo 2:

$$\Delta U_{\%2} = \frac{200 \times L_2 \times I_2}{S \times U_n \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 7,5 \text{ m} \times 49,45 \text{ A}}{120 \text{ mm}^2 \times 12 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 1,145 \%$$

Tramo 3:

$$\Delta U_{\%3} = \frac{200 \times L_3 \times I_3}{S \times U_n \times \gamma_{90}} = \frac{200 \times 1 \text{ m} \times 25,521 \text{ A}}{120 \text{ mm}^2 \times 12 \text{ V} \times 45 \text{ s} \times \text{m} / \text{mm}^2} = 0,079 \%$$

Se comprueba si la caída de tensión se encuentra dentro de los límites previamente establecidos de 1,5 %.

$$\Delta U_{\%} = \Delta U_{\%1} + \Delta U_{\%2} = 0,153 \% + 1,145 \% + 0,079 \% = 1,38 \%$$

11.7.5 Aparatos de maniobra y protección para el sistema de luminarias ubicadas en el acceso al estacionamiento

El cálculo de las protecciones a emplear en este sistema fotovoltaico autónomo se presenta a continuación.

- Protección del generador

A continuación se procede a calcular el calibre del fusible (I_F) y la tensión asignada (U_F), que se instalaran en bases portafusibles seccionables.

$$I_F = 1,5 \times I_{sc} = 1,5 \times 9,89 \text{ A} = 14,835 \text{ A}$$

$$I_F = 2 \times I_{sc} = 2 \times 9,89 \text{ A} = 19,78 \text{ A}$$

$$U_F = 1,2 \times U_{G_{oc}} = 1,2 \times 23,70 \text{ V} = 28,44 \text{ V}$$

Se elige un cartucho fusible de 15 A/ 1100 V DC (gPV) cilíndrico de 14×51 mm.

- Interruptor general del sistema fotovoltaico

Su dimensionamiento se lo hace para que soporte la corriente de cortocircuito del generador ($I_{G_{sc}}$) y la tensión de circuito abierto del generador ($U_{G_{oc}}$) en condiciones CEM.

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

$$I_n \geq I_{G_{sc}} = 39,56 \text{ A}$$

$$U_n \geq U_{G_{oc}} = 23,70 \text{ V}$$

Por lo tanto se escoge un interruptor seccionador bipolar de 40 A/ 600 V DC

- Protección de la batería de acumuladores

El dimensionamiento del fusible se lo hará para actuar entre 1,5 a 2 veces la corriente de cortocircuito del generador ($I_{G_{sc}}$) y se deberá verificar que la tensión asignada al dispositivo soporte 1,2 veces la tensión de circuito abierto del generador ($U_{G_{oc}}$). Se instalara una base portafusibles en el positivo con su respectivo cartucho fusible.

$$I_F = 1,5 \times I_{G_{sc}} = 1,5 \times 39,56 \text{ A} = 59,34 \text{ A}$$

$$I_F = 2 \times I_{G_{sc}} = 2 \times 39,56 \text{ A} = 79,12 \text{ A}$$

$$U_F = 1,2 \times U_{G_{oc}} = 1,2 \times 23,70 \text{ V} = 28,44 \text{ V}$$

Con estos factores se escoge un cartucho fusible de 63 A/1000 V DC (gPV).

- Protección de la luminaria LED

El dimensionamiento del cartucho fusible se lo hará para actuar entre 1,5 a 2 veces la corriente de entrada a la luminaria $I_{lum_{cc}} = 20,417 \text{ A}$.

$$I_F = 1,5 \times I_{lum_{cc}} = 1,5 \times 20,417 \text{ A} = 30,626 \text{ A}$$

$$I_F = 2 \times I_{lum_{cc}} = 2 \times 20,417 \text{ A} = 40,834 \text{ A}$$

Con estos factores se escoge un cartucho fusible de 32 A/1000 V DC (gPV).

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

Tras el desarrollo de la presente propuesta de investigación se considera los impactos técnicos, sociales, ambientales y económicos que se origina del diseño de un sistema de alumbrado LED

mediante energía fotovoltaica para brindar niveles de calidad de iluminación en el parqueadero N° 1 de la U.T.C., estos se describen a continuación:

12.1 Impacto Técnico

En el diseño de la propuesta de investigación, se realizó una nueva configuración del alumbrado en el estacionamiento mediante tecnología LED conjuntamente con el dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo, mejorando los niveles de iluminación en esta zona con un consumo racional y eficiente de la energía.

12.2 Impacto Social

El principal beneficio para el personal administrativo, docentes y estudiantes en general, consiste en brindar un mejor confort como resultado de la nueva configuración del sistema de iluminación LED.

12.3 Impacto Ambiental

Debido a que los equipos de iluminación se energizan por medio de generación fotovoltaica autónoma, se reduce las emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), mitigando el desarrollo de fuentes convencionales para la producción de electricidad y perjudiciales para el medio ambiente.

12.4 Impacto Económico

Si se reduce el consumo de energía del sistema lumínico se disminuyen los egresos de dinero para la institución por concepto de pago por energía eléctrica y mantenimiento preventivo. Además, al disponer de un incentivo económico el proyecto en base a generación fotovoltaica aislada de la red resultaría rentable y con ganancias al final de la vida útil del mismo.

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

13.1 Análisis técnico - económico entre lámparas LED y vapor de sodio en alta presión

El análisis económico se lo realiza primeramente en base a la inversión inicial que se requiere para llevar a cabo la repotenciación del sistema de iluminación. Por lo cual, la opción que presente una menor inversión será económicamente factible. En la tabla 41 y tabla 42 se muestra los costos de cada diseño.

Tabla 41. Inversión inicial del sistema de alumbrado LED

Universidad Técnica de Cotopaxi				
Alumbrado LED conectado a la red eléctrica				
Presupuesto de implementación de un sistema de alumbrado LED conectado a la red eléctrica				
Año 2019-2019				
Expresado en dólares				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Luminaria LED 245 W	Pza.	4	\$ 405,28	\$ 1.621,12
Luminaria LED 134 W	Pza.	18	\$ 338,40	\$ 6.091,20
Poste metálico 7,5 m	Pza.	4	\$ 500,00	\$ 2.000,00
Poste metálico 8 m	Pza.	18	\$ 600,00	\$ 10.800,00
Brazo de soporte 1 m x 2" de diámetro	Pza.	22	\$ 10,90	\$ 239,80
Cable sección 1,5 mm ² , XLPE, 0,6/1 kV (negro)	m	669,79	\$ 0,27	\$ 180,84
Cable sección 1,5 mm ² , XLPE, 0,6/1 kV (rojo)	m	669,79	\$ 0,27	\$ 180,84
Cable sección 1,5 mm ² (verde)	m	467	\$ 0,27	\$ 126,09
Tubo PVC del tipo II pesado 50 mm de diámetro	m	813,55	\$ 3,66	\$ 2.977,58
Interruptor automático magnetotérmico bipolar de 6 A/230 V AC	Pza.	4	\$ 10,99	\$ 43,97
Renta de grúa canastilla	Días	2	\$ 200,00	\$ 400,00
Salario albañil	Días	30	\$ 14,45	\$ 433,35
Salario técnico electricista	Días	30	\$ 13,65	\$ 409,51
TOTAL				\$ 25.961,65

Tabla 42. Inversión inicial del sistema de alumbrado convencional mediante lámparas de sodio de alta presión

Universidad Técnica de Cotopaxi				
Alumbrado convencional mediante lámparas de sodio de alta presión				
Presupuesto de implementación de un sistema de alumbrado convencional mediante lámparas de sodio de alta presión				
Año 2019-2019				
Expresado en dólares				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Luminaria SON 276 W	Pza.	28	\$ 40,92	\$ 1.145,76
Poste metálico 7,5 m	Pza.	6	\$ 500,00	\$ 3.000,00
Poste metálico 9 m	Pza.	4	\$ 702,58	\$ 2.810,32
Poste metálico 8 m	Pza.	18	\$ 600,00	\$ 10.800,00
Brazo de soporte 1 m x 2" de diámetro	Pza.	22	\$ 10,90	\$ 239,80
Cable sección 10 mm ² , XLPE, 0,6/1 kV (negro)	m	824,04	\$ 1,88	\$ 1.549,19
Cable sección 10 mm ² (blanco)	m	824,04	\$ 1,88	\$ 1.549,19
Cable sección 10 mm ² (verde)	m	529,15	\$ 1,88	\$ 994,80
Tubo PVC del tipo II pesado 50 mm de diámetro	m	828,45	\$ 3,66	\$ 3.032,11
Interruptor automático magnetotérmico bipolar de 16 A/230 V AC	Pza.	5	\$ 13,74	\$ 68,70
Renta de grúa canastilla	Días	2	\$ 200,00	\$ 400,00
Salario albañil	Días	30	\$ 14,45	\$ 433,35
Salario técnico electricista	Días	30	\$ 13,65	\$ 409,51
TOTAL				\$ 26.955,48

Inicialmente la inversión que se requiere para un sistema de alumbrado convencional sobrepasa al LED en \$ 993,83, lo que bastaría para descartar económicamente esta propuesta. Las lámparas LED se caracterizan principalmente por su extensa vida útil en comparación con las de sodio de alta presión, por esta razón, se evalúa el valor de estos activos en el tiempo, lo cual permitirá resaltar esta ventaja desde el punto de vista económico.

En la tabla 43 se indican los resultados de la depreciación en línea recta para ambos casos, se empleó este método por ser el más sencillo dentro del ámbito financiero.

Tabla 43. Depreciación en línea recta

Descripción	Lámpara LED 245 W	Lámpara LED 134 W	Lámpara de vapor sodio en alta presión 276 W
Cantidad de lámparas	4	18	28
Valor unitario	\$ 405,28	\$ 338,40	\$ 40,92
Valor total	\$ 1.621,12	\$ 6.091,20	\$ 1.145,76
Vida útil (años)	23		6
Valor residual (%)	0		0
Depreciación anual	\$ 17,62	\$ 14,71	\$ 6,82
Total depreciación a 6 años	\$ 105,72	\$ 88,26	\$ 40,92
Depreciación a 6 años por la cantidad de lámparas	\$ 422,88	\$ 1.588,68	
Total depreciación a 6 años lámparas de 245 W y de 134 W	\$ 2.011,56		
Valor unitario a 6 años	\$ 299,56	\$ 250,14	
Valor total a 6 años	\$ 1.198,24	\$ 4.502,52	

Con una vida útil de 6 años las luminarias de vapor de sodio en alta presión al cabo de este período se debe realizar el cambio total de sus lámparas, esto se evidencia en la tabla anterior, puesto que, al final de este intervalo de tiempo su valor se deprecia en su totalidad.

Todo lo contrario de las luminarias LED con una vida útil de 23 años su depreciación anual, es decir, el valor del dinero que pierde cada año es \$ 17,62 para las de 245 W y \$ 14,71 para las de 134 W, por lo tanto, al concluir los 6 años estas tienen un valor de \$ 5.700,76 conjuntamente.

En consecuencia dentro de los 23 años, las lámparas de vapor de sodio en alta presión se cambiarán cuatro veces incrementando así el valor de la inversión inicial, misma que se muestra en la tabla 44.

Tabla 44. Inversión inicial a 23 años del sistema de alumbrado convencional mediante lámparas de sodio de alta presión

Universidad Técnica de Cotopaxi				
Alumbrado convencional mediante lámparas de sodio de alta presión				
Presupuesto de implementación de un sistema de alumbrado convencional mediante lámparas de sodio de alta presión				
Año 2019-2019				
Expresado en dólares				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Luminaria SON 276 W	Pza.	28	\$ 163,68	\$ 4.583,04
Poste metálico 7,5 m	Pza.	6	\$ 500,00	\$ 3.000,00
Poste metálico 9 m	Pza.	4	\$ 702,58	\$ 2.810,32
Poste metálico 8 m	Pza.	18	\$ 600,00	\$ 10.800,00
Brazo de soporte 1 m x 2" de diámetro	Pza.	22	\$ 10,90	\$ 239,80
Cable sección 10 mm ² , XLPE, 0,6/1 kV (negro)	m	824,04	\$ 1,88	\$ 1.549,19
Cable sección 10 mm ² (blanco)	m	824,04	\$ 1,88	\$ 1.549,19
Cable sección 10 mm ² (verde)	m	529,15	\$ 1,88	\$ 994,80
Tubo PVC del tipo II pesado 50 mm de diámetro	m	828,45	\$ 3,66	\$ 3.032,11
Interruptor automático magnetotérmico bipolar de 16 A/230 V AC	Pza.	5	\$ 13,74	\$ 68,70
Renta de grúa canastilla	Días	2	\$ 200,00	\$ 400,00
Salario albañil	Días	30	\$ 14,45	\$ 433,35
Salario técnico electricista	Días	30	\$ 13,65	\$ 409,51
TOTAL				\$ 30.392,76

Como resultado se obtiene una inversión inicial proyectada a 23 años de \$ 30.392,76 para el sistema de iluminación en base a luminarias de sodio de alta presión, lo que descarta esta propuesta económicamente y permite seleccionar a las lámparas LED como la opción idónea por su menor costo en implementación y larga vida útil.

Por otro lado en el apartado **11.3.3** y **11.4.3** se evalúa la eficiencia de los sistemas de iluminación por medio de un indicador denominado densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA), y con ello se obtiene un valor de 1,88 W/m² en el caso de la iluminación LED y 4,77 W/m² para la iluminación de sodio. En pocas palabras, técnicamente resulta conveniente hacer uso de la tecnología LED para el diseño del sistema fotovoltaico.

Y así, la repotenciación del sistema de alumbrado se lo hará mediante luminarias LED, por otro lado, no es necesario un análisis de rentabilidad mediante el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), debido a que su mejoramiento se lo debe realizar para ofrecer niveles de calidad lumínicos, dado que, los que existen actualmente no cumple con la normativa.

13.2 Análisis técnico - económico entre el sistema de alumbrado LED mediante energía fotovoltaica y un sistema de iluminación LED solar

Una vez seleccionada el tipo de luminaria para la propuesta, surge otra alternativa, si realizar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico concentrado o instalar un panel solar en cada poste. La elección del mismo se lo realiza de manera análoga al apartado anterior, primeramente se evalúa la inversión inicial (véase tabla 45 y tabla 46) para continuar con el análisis técnico.

Tabla 45. Inversión inicial del sistema de alumbrado LED a través de energía fotovoltaica

Universidad Técnica de Cotopaxi				
Alumbrado LED mediante energía fotovoltaica				
Presupuesto de implementación de un sistema de alumbrado LED mediante energía fotovoltaica				
Año 2019-2019				
Expresado en dólares				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Luminaria LED 245 W	Pza.	4	\$ 405,28	\$ 1.621,12
Luminaria LED 134 W	Pza.	18	\$ 338,40	\$ 6.091,20
Poste metálico 7,5 m	Pza.	4	\$ 500,00	\$ 2.000,00
Poste metálico 8 m	Pza.	18	\$ 600,00	\$ 10.800,00
Brazo de soporte 1 m x 2" de diámetro	Pza.	22	\$ 10,90	\$ 239,80
Cable sección 1,5 mm ² , XLPE, 0,6/1 kV (negro)	m	669,79	\$ 0,27	\$ 180,84
Cable sección 1,5 mm ² , XLPE, 0,6/1 kV (rojo)	m	669,79	\$ 0,27	\$ 180,84
Cable sección 1,5 mm ² verde)	m	467	\$ 0,27	\$ 126,09
Tubo PVC del tipo II pesado 50 mm de diámetro	m	813,55	\$ 3,66	\$ 2.977,58
Interruptor automático magnetotérmico bipolar de 6 A/230 V AC	Pza.	4	\$ 10,99	\$ 43,97
Renta de grúa canastilla	Días	2	\$ 200,00	\$ 400,00
Panel fotovoltaico monocristalino (24 V/360 W)	Pza.	28	\$ 319,73	\$ 8.952,44
Batería (12 V/240 Ah)	Pza.	28	\$ 723,19	\$ 20.249,32
Regulador de carga (48 V/110 A)	Pza.	2	\$ 313,43	\$ 626,86
Inversor (48 V/5000 VA)	Pza.	1	\$ 2.487,21	\$ 2.487,21
Cable Exzhellent solar ZZ-F (AS) sección 4 mm ²	m	21	\$ 1,28	\$ 26,86
Cable Exzhellent solar ZZ-F (AS) sección 35 mm ²	m	8,60	\$ 5,34	\$ 45,92
Cable Exzhellent RZ1-K (AS) sección 16 mm ²	m	4	\$ 3,50	\$ 14,00
Cable Exzhellent RZ1-K (AS) sección 50 mm ²	m	1	\$ 7,17	\$ 7,17
Cable Exzhellent RZ1-K (AS) sección 10 mm ²	m	1	\$ 1,69	\$ 1,69
Seccionador portafusibles de 15 A/1100 V DC (gPV) + neutro	Pza.	14	\$ 6,00	\$ 84,00
Interruptor seccionador de 100 A/ 1000 V DC	Pza.	2	\$ 38,86	\$ 77,72
Seccionador portafusibles de 110 A/1000 V DC (gPV)	Pza.	2	\$ 19,85	\$ 39,70
Interruptor automático bipolar de 25 A/230 V AC	Pza.	1	\$ 10,99	\$ 10,99
Interruptor diferencial bipolar de 25 A/240 V AC	Pza.	1	\$ 7,18	\$ 7,18
Estructura de soporte para el SFV concentrado	Pza.	2	\$ 380,00	\$ 760,00
Salario albañil	Días	30	\$ 14,45	\$ 433,35
Salario técnico electricista	Días	30	\$ 13,65	\$ 409,51
Supervisor	Días	30	\$ 15,25	\$ 457,35
TOTAL				\$ 59.352,71

Tabla 46. Inversión inicial del sistema de alumbrado LED solar

Universidad Técnica de Cotopaxi				
Alumbrado LED solar				
Presupuesto de implementación de un sistema de alumbrado LED solar				
Año 2019-2019				
Expresado en dólares				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Luminaria LED (245 W)	Pza.	4	\$ 405,28	\$ 1.621,12
Luminaria LED (134 W)	Pza.	18	\$ 338,40	\$ 6.091,20
Estructura metálica de 14,50 m	Pza.	4	\$ 1.300,00	\$ 5.200,00
Estructura metálica de 11 m	Pza.	18	\$ 1.000,00	\$ 18.000,00
Brazo de soporte 1 m x 2" de diámetro	Pza.	22	\$ 10,90	\$ 239,80
Renta de grúa canastilla	Días	2	\$ 200,00	\$ 400,00
Panel fotovoltaico monocristalino (12 V/175 W)	Pza.	52	\$ 185,85	\$ 9.664,20
Batería (12 V/220 Ah)	Pza.	8	\$ 718,32	\$ 5.746,56
Batería (12V/240 Ah)	Pza.	18	\$ 723,19	\$ 13.017,42
Regulador de carga (12 V/70 A)	Pza.	4	\$ 340,20	\$ 1.360,80
Regulador de carga (12 V/25 A)	Pza.	18	\$ 196,02	\$ 3.528,36
Cable Exzhellent solar ZZ-F (AS) sección 120 mm ²	m	229,90	\$ 13,21	\$ 3.036,98
Seccionador portafusibles de 15 A/1100 V DC (gPV) + neutro	Pza.	52	\$ 6,00	\$ 312,00
Interruptor seccionador de 40 A/ 600 V DC	Pza.	22	\$ 25,52	\$ 561,44
Seccionador portafusibles de 63 A/1000 V DC (gPV)	Pza.	22	\$ 19,53	\$ 429,66
Seccionador portafusibles de 32 A/1000 V DC (gPV)	Pza.	22	\$ 12,51	\$ 275,22
Estructura de soporte por cada panel	Pza.	52	\$ 54,29	\$ 2.822,86
Salario albañil	Días	30	\$ 14,45	\$ 433,35
Salario técnico electricista	Días	30	\$ 13,65	\$ 409,51
Supervisor	Días	30	\$ 15,25	\$ 457,35
TOTAL				\$ 73.607,83

En la propuesta basada en instalar un panel solar por cada poste de alumbrado, la potencia de las luminarias requeridas para que el sistema de iluminación del parqueadero cumpla con los niveles descritos en la normativa es elevada, lo que resulta en un número excesivo de equipos (paneles solares, regulador de carga y baterías) e incrementándose la inversión a un total de \$ 73.607,83. En definitiva esta idea económicamente no se recomienda por sus elevados costos. Es así que se elige el sistema de alumbrado LED mediante energía fotovoltaica al tener una inversión inicial de \$ 59.352,71, el cual consiste en instalar los equipos en una determinada zona de la terraza del bloque antiguo.

En el caso de instalar un módulo solar independiente la limitante es el espacio al requerir de cuatro paneles fotovoltaicos en cada luminaria de 245 W y dos paneles en cada luminaria de 134 W, por ello no es recomendable técnicamente. Mediante el dimensionamiento del sistema fotovoltaico concentrado el número de paneles no es elevado y se dispondría de un área considerable para su instalación, con lo que la limitación del espacio no se tendría para esta propuesta.

13.3 Rentabilidad del sistema fotovoltaico autónomo concentrado

Para poder analizar la rentabilidad de la inversión se emplea dos herramientas muy prácticas denominadas valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR). Primeramente se deberá conocer la inversión inicial, al igual que los ingresos y los egresos de dinero ya que tanto el valor actual neto como la tasa interna de retorno se basan en lo mismo, y se calculan por la estimación de los flujos de efectivo netos que tenga el proyecto.

En la tabla 47 se muestra la inversión inicial de la implementación del sistema fotovoltaico concentrado, pero, en este estudio se descarta el capital inicial que se presenta en la tabla 41 para la repotenciación del sistema de iluminación, debido a que se analiza la rentabilidad que implica suministrar la energía eléctrica con la red de distribución o la generación propia del sistema solar autónomo.

Tabla 47. Inversión inicial del sistema fotovoltaico concentrado

Universidad Técnica de Cotopaxi				
Sistema fotovoltaico concentrado				
Presupuesto de implementación de un sistema fotovoltaico concentrado				
Año 2019-2019				
Expresado en dólares				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Panel fotovoltaico monocristalino (24 V/360 W)	Pza.	28	\$ 319,73	\$ 8.952,44
Batería (12 V/240 Ah)	Pza.	28	\$ 723,19	\$ 20.249,32
Regulador de carga (48 V/110 A)	Pza.	2	\$ 313,43	\$ 626,86
Inversor (48 V/5000 VA)	Pza.	1	\$ 2.487,21	\$ 2.487,21
Cable Exzhellent solar ZZ-F (AS) sección 4 mm ²	m	21	\$ 1,28	\$ 26,86
Cable Exzhellent solar ZZ-F (AS) sección 35 mm ²	m	8,60	\$ 5,34	\$ 45,92
Cable Exzhellent RZ1-K (AS) sección 16 mm ²	m	4	\$ 3,50	\$ 14,00
Cable Exzhellent RZ1-K (AS) sección 50 mm ²	m	1	\$ 7,17	\$ 7,17
Cable Exzhellent RZ1-K (AS) sección 10 mm ²	m	1	\$ 1,69	\$ 1,69
Seccionador portafusibles de 15 A/1100 V DC (gPV) + neutro	Pza.	14	\$ 6,00	\$ 84,00
Interruptor seccionador de 100 A/ 1000 V DC	Pza.	2	\$ 38,86	\$ 77,72
Seccionador portafusibles de 110 A/1000 V DC (gPV)	Pza.	2	\$ 19,85	\$ 39,70
Interruptor automático bipolar de 25 A/230 V AC	Pza.	1	\$ 10,99	\$ 10,99
Interruptor diferencial bipolar de 25 A/240 V AC	Pza.	1	\$ 7,18	\$ 7,18
Estructura de soporte para el SFV concentrado	Pza.	2	\$ 380,00	\$ 760,00
TOTAL				\$ 33.391,06

Ahora se considera la vida útil de los equipos del sistema fotovoltaico, en el caso de las baterías es de 15 años y para los paneles solares, regulador de carga e inversor de 25 años. Lo que implica el cambio de los acumuladores eléctricos en el año 15, siendo necesario agregar este coste dentro del capital inicial de \$ 33.391,06. Por consiguiente se emplea el valor actual (VA)

para determinar el monto que se requiere invertir en el año cero, a una tasa de interés del 8,16 % y un saldo en efectivo de \$ 20.249,32.

Mediante los parámetros establecidos se determina un monto de \$ 6.243,24 a invertir en el año cero, para generar un capital adicional en el lapso del tiempo correspondiente a la vida útil de las baterías, que posteriormente será implementado para el cambio de las mismas. Por lo tanto, la inversión inicial total es de \$ **39.634,30**, valor que será utilizado en el cálculo de la rentabilidad del sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica.

Por otra parte, la iluminación LED mediante energía solar se basa en un sistema fotovoltaico aislado de la red de suministro eléctrico, por lo tanto, lo que la U.T.C. pagaría por consumo de energía eléctrica en este caso representaría un ingreso de dinero para la institución, el valor anual de dichos ingresos monetarios se muestran en la tabla 48. El precio del kWh al igual que el rango de consumos se toma del pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución del año 2019.

Tabla 48. Facturación anual de energía eléctrica

Día de la semana	Horas de uso diario	No. Días	Total horas de uso al mes	Carga Instalada (kW)	Demanda de energía (kWh)	Rango de consumos (kWh)	Precio tarifa (\$/kWh)	Subtotal	
Lunes a Domingo	12	365	4380	3,392	14856,96	100	1-100	0,034	\$ 3,40
						100	101-200	0,036	\$ 3,60
						100	201-300	0,038	\$ 3,80
						14556,96	Superior	0,063	\$ 917,09
TOTAL								\$ 927,89	

La vida útil del proyecto se considera de 25 años y con los resultados previamente mostrados se obtiene la tabla 49 que representan los ingresos anuales a favor de la institución.

Tabla 49. Ingresos anuales

Año	Pago por energía eléctrica	Año	Pago por energía eléctrica
1	\$ 927,89	14	\$ 927,89
2	\$ 927,89	15	\$ 927,89
3	\$ 927,89	16	\$ 927,89
4	\$ 927,89	17	\$ 927,89
5	\$ 927,89	18	\$ 927,89
6	\$ 927,89	19	\$ 927,89
7	\$ 927,89	20	\$ 927,89
8	\$ 927,89	21	\$ 927,89
9	\$ 927,89	22	\$ 927,89
10	\$ 927,89	23	\$ 927,89
11	\$ 927,89	24	\$ 927,89
12	\$ 927,89	25	\$ 927,89
13	\$ 927,89		

Los costos por operación de mantenimiento preventivo se consideran aquellos egresos de dinero que resulten de la contratación del personal destinado para esta actividad, en la tabla 50 se estima el valor de la hora diaria y del día laboral, en la tabla 51 se menciona el total a pagar por concepto de sueldo y salario.

Tabla 50. 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
\$ 394,00	8 horas diarias	20 días al mes	\$ 2,46	\$ 19,68

Tabla 51. Hoja de tiempo para mantenimiento preventivo

Cargo	Lunes (horas)	Subtotal Salario	Total a Pagar
Técnico electricista	8	\$ 19,68	\$ 39,36
Ayudante Técnico electricista	8	\$ 19,68	

Obteniendo de esta manera los egresos de dinero por cada año de vida útil del proyecto como se muestra en la tabla 52.

Tabla 52. Egresos anuales

Año	Operación de mantenimiento preventivo	Año	Operación de mantenimiento preventivo
1	\$ 39,36	14	\$ 39,36
2	\$ 39,36	15	\$ 39,36
3	\$ 39,36	16	\$ 39,36
4	\$ 39,36	17	\$ 39,36
5	\$ 39,36	18	\$ 39,36
6	\$ 39,36	19	\$ 39,36
7	\$ 39,36	20	\$ 39,36
8	\$ 39,36	21	\$ 39,36
9	\$ 39,36	22	\$ 39,36
10	\$ 39,36	23	\$ 39,36
11	\$ 39,36	24	\$ 39,36
12	\$ 39,36	25	\$ 39,36
13	\$ 39,36		

Los flujos de efectivo netos anuales se obtienen como la diferencia entre los ingresos y egresos del proyecto, en el año cero se tiene la inversión inicial que para efectos de cálculo se le asigna el signo negativo como se indica en la tabla 53.

Tabla 53. Flujo neto de efectivo

Año	Valor	Año	Valor
0	-\$ 39.634,30	13	\$ 888,53
1	\$ 888,53	14	\$ 888,53
2	\$ 888,53	15	\$ 888,53
3	\$ 888,53	16	\$ 888,53
4	\$ 888,53	17	\$ 888,53
5	\$ 888,53	18	\$ 888,53
6	\$ 888,53	19	\$ 888,53
7	\$ 888,53	20	\$ 888,53
8	\$ 888,53	21	\$ 888,53
9	\$ 888,53	22	\$ 888,53
10	\$ 888,53	23	\$ 888,53
11	\$ 888,53	24	\$ 888,53
12	\$ 888,53	25	\$ 888,53

Una vez establecidos estos factores se procede a determinar la rentabilidad de la implementación de un generador fotovoltaico concentrado como fuente de suministro eléctrico para el sistema de iluminación LED, haciendo uso del VAN y TIR como se puede apreciar en la tabla 54.

Tabla 54. Rentabilidad del proyecto

Costo de oportunidad del capital (COK)	Valor actual neto (VAN)	Tasa interna de retorno (TIR)
8,16 %	-\$ 30.277,65	- 4,03 %

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

Como solución se presenta una alternativa que consiste básicamente en un nuevo valor para el kWh de USD 0,6812 tomado del pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución del año 2019, este costo es para aquellos usuarios a nivel residencial con un consumo energético superior a 3500 kWh, por lo tanto, no disponen del subsidio que el estado otorga a la energía eléctrica, seguidamente se estima los nuevos ingresos anuales (véase tabla 55 y tabla 56) y manteniendo los mismos valores para los egresos.

Tabla 55. Facturación anual de energía eléctrica

Día de la semana	Horas de uso diario	No. Días	Total horas de uso al mes	Carga Instalada (kW)	Demanda de energía (kWh)	Precio tarifa (\$/kWh)	Total anual
Lunes a Domingo	12	365	4380	3,392	14856,96	\$ 0,6812	\$ 10.120,56

Tabla 56. Ingresos anuales

Año	Valor	Año	Valor
1	\$ 10.120,56	14	\$ 10.120,56
2	\$ 10.120,56	15	\$ 10.120,56
3	\$ 10.120,56	16	\$ 10.120,56
4	\$ 10.120,56	17	\$ 10.120,56
5	\$ 10.120,56	18	\$ 10.120,56
6	\$ 10.120,56	19	\$ 10.120,56
7	\$ 10.120,56	20	\$ 10.120,56
8	\$ 10.120,56	21	\$ 10.120,56
9	\$ 10.120,56	22	\$ 10.120,56
10	\$ 10.120,56	23	\$ 10.120,56
11	\$ 10.120,56	24	\$ 10.120,56
12	\$ 10.120,56	25	\$ 10.120,56
13	\$ 10.120,56		

En la tabla 57 se indica el flujo neto de efectivo con los nuevos valores de los ingresos anuales que permitirá determinar la rentabilidad del sistema fotovoltaico concentrado y adicionalmente se estima el tiempo de recuperación de la inversión inicial.

Tabla 57. Flujo neto de efectivo

Año	Valor	Año	Valor
0	- \$ 39.634,30	13	\$ 10.081,20
1	\$ 10.081,20	14	\$ 10.081,20
2	\$ 10.081,20	15	\$ 10.081,20
3	\$ 10.081,20	16	\$ 10.081,20
4	\$ 10.081,20	17	\$ 10.081,20
5	\$ 10.081,20	18	\$ 10.081,20
6	\$ 10.081,20	19	\$ 10.081,20
7	\$ 10.081,20	20	\$ 10.081,20
8	\$ 10.081,20	21	\$ 10.081,20
9	\$ 10.081,20	22	\$ 10.081,20
10	\$ 10.081,20	23	\$ 10.081,20
11	\$ 10.081,20	24	\$ 10.081,20
12	\$ 10.081,20	25	\$ 10.081,20

Con los resultados de la tabla 58 se evidencia que con el incentivo de USD 0,6812 la propuesta resulta rentable debido a que el VAN es mayor a cero y la TIR es superior al costo de oportunidad del capital. En la tabla 59 se indica el tiempo de recuperación de la inversión que será de cuatro años.

Tabla 58. Rentabilidad del proyecto

Costo de oportunidad del capital (COK)	Valor actual neto (VAN)	Tasa interna de retorno (TIR)
8,16 %	\$ 66.525,60	25,35 %

Tabla 59. Período de recuperación de la inversión

Año	Período de recuperación tradicional	Año	Período de recuperación tradicional
0	- \$ 39.634,30	13	\$ 91.421,30
1	- \$ 29.553,10	14	\$ 101.502,50
2	- \$ 19.471,90	15	\$ 111.583,70
3	- \$ 9.390,70	16	\$ 121.664,90
4	\$ 690,50	17	\$ 131.746,10
5	\$ 10.771,70	18	\$ 141.827,30
6	\$ 20.852,90	19	\$ 151.908,50
7	\$ 30.934,10	20	\$ 161.989,70
8	\$ 41.015,30	21	\$ 172.070,90
9	\$ 51.096,50	22	\$ 182.152,10
10	\$ 61.177,70	23	\$ 192.233,30
11	\$ 71.258,90	24	\$ 202.314,50
12	\$ 81.340,10	25	\$ 212.395,70
Período de recuperación (Años)		4	

13.4 Estimación de costo mínimo del kWh para la rentabilidad del proyecto

Con la finalidad de establecer el valor mínimo del kWh a través del cual el proyecto se vuelve rentable en un periodo de recuperación de 10 años, se hace uso de la ecuación 19 para calcular el flujo neto de efectivo.

$$FNE_t = \frac{(1+TMAR)^n \times I_0 \times TMAR}{(1+TMAR)^n - 1} \quad (19)$$

donde

FNE_t : Flujo neto de efectivo (\$)

I_0 : Inversión inicial en el periodo cero (\$)

$TMAR$: Tasa mínima aceptable de rendimiento (en tanto por uno)

n : Periodo de recuperación de la inversión inicial (años)

$$FNE_{10} = \frac{(1+0,0816)^{10} \times \$ 39.634,30 \times 0,0816}{(1+0,0816)^{10} - 1} = \$ 5.949,3768$$

Seguidamente, se procede a calcular el valor que corresponderá a los ingresos anuales mediante la ecuación 20.

$$I_t = FNE_{10} + C_t \quad (20)$$

donde

I_t : Ingresos en el periodo t (\$)

C_t : Egresos en el periodo t (\$)

$$I_{10} = \$ 5.949,3768 + \$ 39,36 = \$ 5.988,7368$$

Por consiguiente se estima el costo mínimo del kWh para el cual el proyecto resulta rentable, a través de la ecuación 21.

$$C_{kWh} = \frac{I_{10}}{E} \quad (21)$$

donde

C_{kWh} : Costo mínimo del kWh (\$/kWh)

E : Demanda de energía (kWh)

$$C_{kWh} = \frac{\$ 5.988.7368}{14.856,96 kWh} = \$ 0,4031 \text{ por kWh}$$

13.5 Validación de la Hipótesis

De acuerdo al diseño del sistema de iluminación LED a través de energía fotovoltaica en el estacionamiento N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante el software Dialux evo, se mejoró los niveles de iluminancia en conformidad con los criterios de aceptación según la norma NTE INEN 2248, con un consumo energético eficiente y contribuyendo a la mejora de la seguridad, como se puede apreciar en la tabla 60.

Tabla 60. Niveles actuales de iluminación y según el diseño en el software Dialux evo

Descripción	Criterio de aceptación (lx)	Niveles actuales de iluminación (lx)	Niveles de iluminación según el diseño (lx)	Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (W/m ²)
Acceso	500 – 1000	10,90	518	1,88
Franja de circulación	90 – 160	16,88	132,83	
Plazas de estacionamiento	30 – 100	15,66	113,75	

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1 Conclusiones

- Del estudio de iluminancia efectuado en el estacionamiento N° 1 mediante el método punto por punto, y los datos obtenidos con el luxómetro Digisense de 10,90 lx para el acceso, 16,88 lx en franjas de circulación vehicular y 15,66 lx en plazas de parqueo, se constató que los niveles actuales de iluminación son inferiores a los límites establecidos en la normativa NTE INEN 2248, de 500 lx para el acceso, en franjas de circulación 90 lx y en plazas de parqueo 30 lx.
- La densidad de potencia eléctrica (DPEA) en el caso del sistema de iluminación LED es de 1,88 W/m² y 4,77 W/m² para el alumbrado con luminarias de vapor de sodio en alta presión, demostrando que al requerir de una alta eficiencia la tecnología LED es la adecuada, técnica y económicamente, ya que su larga vida útil de 23 años genera una inversión inicial respecto a la iluminación con tecnología SON inferior con \$ 4.431,11.
- El diseño de la nueva configuración del sistema de iluminación se desarrolló en el software Dialux evo, con un total de 18 luminarias LED de 134 W y 4 luminarias LED de 245 W instaladas a una altura de 8 metros y 7,5 metros respectivamente, obteniendo así un índice de uniformidad superior a 0,50, valor dado por el programa, en las diferentes secciones del parqueadero y así evitar el denominado efecto cebra.
- El sistema fotovoltaico autónomo abastecerá una carga instalada de 3392 W y la energía diaria necesaria de 40704 Wh, misma que es generada por 28 módulos solares de 360 W/24 V, con un total de 28 baterías de descarga profunda de 240 Ah/12 V el sistema podrá continuar en funcionamiento sin generación solar durante un día.
- La corriente nominal del regulador de carga (I_R) es de 169,75 A por lo cual se escogió dos reguladores que se deberán instalar en paralelo, cumpliendo un criterio para su elección; si el resultado de la relación entre I_R y la capacidad nominal del equipo (I_b) resulta en un rango comprendido entre 1,10 y 1,50 se deberá cambiar de controlador.
- Con una demanda de energía eléctrica equivalente a 14856,96 kWh/año lo que representa una facturación de \$ 927,89 y \$ 39,36 por operación de mantenimiento preventivo, se obtiene un valor actual neto de - \$ 30.277,65, y como tasa interna de retorno - 4,03 % la cual es inferior al costo de oportunidad del capital del 8,16 %, lo que implica que el proyecto no es rentable.

14.2 Recomendaciones

- Para poder alcanzar los niveles de iluminación conforme a la normativa, en la franja de circulación vehicular del área más amplia del estacionamiento se deberá inclinar la luminaria en un ángulo de 25°.
- Efectuar mediciones anuales de los niveles de iluminación y luminancia para llevar un control adecuado que permita realizar un mantenimiento correctivo de ser necesario, y verificar si el límite de deslumbramiento ha presentado variaciones con respecto a los valores obtenidos en el diseño.
- Con la finalidad de mejorar la utilización del sistema de alumbrado LED se puede considerar dos circuitos de iluminación, donde el primero se encuentre encendido permanentemente y el segundo se activará a través de un sensor de presencia que permita cumplir con los niveles lumínicos del presente diseño.
- El mantenimiento preventivo del sistema fotovoltaico autónomo debería ser realizado anualmente y para los equipos del sistema de iluminación LED cada 5 años, además se debe considerar que las baterías e inversor no cuentan con protección IP para exteriores, siendo necesario ubicarlos bajo una infraestructura adecuada para su protección.
- Al contar con un área disponible de 1.335,76 m² en la terraza de las instalaciones del bloque antiguo, se realice un estudio para determinar el potencial de generación para aplicaciones de iluminación exterior en los alrededores de esta edificación.
- En caso de existir excedentes de energía como resultado de la ampliación de la capacidad de generación del sistema fotovoltaico, se realice el estudio pertinente que posibilite la conexión a la red de suministro eléctrico, por lo cual, la Universidad Técnica de Cotopaxi reciba beneficios adicionales según lo estipulado en la regulación Nro. Arconel 003/18.
- Para la implementación del proyecto buscar un apoyo económico proveniente de fundaciones sin fines de lucro o incentivos por parte del gobierno para que el proyecto resulte rentable y con ganancias al final de su vida útil.

15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Gago y J. Fraile, *Iluminación con tecnología LED*. España: Paraninfo S.A., 2012.
- [2] J. A. Domínguez, *Energías alternativas*. 3era. ed. Madrid: Equipo Sirius, 2008.
- [3] A. Bridgewater y G. Bridgewater, *Energías alternativas handbook*. 1era. ed. España: Paraninfo S.A., 2009.
- [4] M. González y J. González, “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”, tesis Ing., ESIME, México, MX, 2015.
- [5] A. Guerrero, J. Ruvalcaba, I. Vázquez, “Propuesta de alumbrado con iluminación tipo LED y paneles fotovoltaicos estacionamiento de la DAE (Dirección de Administración Escolar) del I.P.N.”, tesis Ing., ESIME, México, MX, 2016.
- [6] M. Castro y N. Posligua, “Diseño de iluminación con luminarias tipo LED basado en el concepto de eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas”, tesis Ing., UPS, Guayaquil, EC, 2015.
- [7] R. Vizcaya y W. Martínez, “Rediseño del sistema de iluminación del parqueadero centro comercial regional ciudad victoria según el RETILAP”, tesis Tnlgo., UPT, Pereira, COL, 2016.
- [8] C. Arévalo y P. Maldonado, “Implementación de un sistema de iluminación exterior con timers programables para el parqueadero de la ESFOT”, tesis Tnlgo., UPN, Quito, ECU, 2018.
- [9] J. Barbosa, A. Soto, F. Ramos, “Comparativa entre la eficiencia de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y la de un sistema fotovoltaico fijo”, *Ciba*, vol. 6, no. 12, pp. 2007-9990, Diciembre 2017.
- [10] J. Ordóñez, N. Gil, J. Espinoza, “Análisis de viabilidad técnico-económica de sistemas fotovoltaicos a pequeña escala con distintas tecnologías de almacenamiento”, *Maskana*, Septiembre 2017.
- [11] A. Pérez, “Inversor para sistema fotovoltaico aislado”, tesis Ing., PUJ, Bogotá, COL, 2016.
- [12] M. Huidobro, “Diseño de una estructura soporte para un módulo integrado de placa fotovoltaica”, disertación Ph.D., UPM, Madrid, ESP, 2016.

- [13] G. E. Harper, *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*. 2da. ed. México: Limusa, 2004.
- [14] V. Márquez, F. González, J. Gonzales *Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior (UF0567)*. 1era. ed. Andalucía: ic editorial, 2013.
- [15] INEN. (2019, Abr 05). CPE INEN 14 “Código de práctica para alumbrado público” [En línea]. Disponible: <http://181.112.149.204/buzon/normas/CPE-14.pdf>
- [16] INEN. (2017, Feb 06). RTE INEN 069 “Alumbrado público” [En línea]. Disponible: <https://es.scribd.com/document/200733164/Normas-de-Alumbrado-Publico-Rte-069>
- [17] N. Bratu y E. Campero, *Instalaciones eléctricas conceptos básicos y diseño*. 2da. ed. Colombia: Alfaomega, 2006.
- [18] G. E. Harper, *Manual práctico del alumbrado*. México: Limusa, 2007.
- [19] J. Farrás, *Capítulo 46 Iluminación, enciclopedia de la OIT*. D - INSHT, 2012.
- [20] J. Serrano y P. Llorens, *Instalaciones eléctricas básicas*. 2da. ed. España: Paraninfo S.A., 2018.
- [21] S. Sánchez, *UF0567 - Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior*. 5.1. ed. España: Elearning S.L., 2015.
- [22] CEAC, *Sistemas de iluminación, proyectos de alumbrado*. 1era. ed. España: Ediciones CEAC, S.A., 1974.
- [23] INEN. (2019, Abr 07). NTE INEN 2248 “Accesibilidad de las personas al medio físico. Estacionamientos” [En línea]. Disponible: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/NTE-INEN-2248-ESTACIONAMIENTOS.pdf>
- [24] X. Castells, *Energías renovables*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2012.
- [25] A. Olivia y G. Herranz, *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex, 2010.
- [26] M. Tobajas, *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Cano Pina SL, 2012.
- [27] J. de la Cruz y F. de la Cruz, *Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas*. 1era. ed. España: Ediciones Experiencia S.L., 2009.

- [28] A. Bayod, *Energías renovables: sistemas fotovoltaicos*. 1era. ed. España: Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2009.
- [29] M. Aparicio, *Energías solar fotovoltaica, cálculo de una instalación aislada*. 2da. ed. España: Marcombo, 2010.
- [30] BANCO CENTRAL DEL ECUADOR. (2019, Jun 28). Tasas de Interés, junio - 2019 [En línea]. Disponible: <https://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
- [31] PHILIPS. (2019, Abr 02). Luma BGP623 LED220-4S/740 DM11 GR DDF27 SRG [En línea]. Disponible: http://www.lighting.philips.es/prof/luminarias-de-exterior/alumbrado-publico-y-residencial/luminarias-publico-y-residencial/luma/912300023805_EU/product
- [32] PHILIPS. (2019, Abr 02). Luma BGP627 LED400-4S/740 DM11 GR DDF27 SRG [En línea]. Disponible: http://www.lighting.philips.es/prof/luminarias-de-exterior/alumbrado-publico-y-residencial/luminarias-publico-y-residencial/luma/912300023808_EU/product
- [33] PHILIPS. (2019, Abr 29). SPECTRUM SPP368 1xSON-T250W SGR CP P-A60 [En línea]. Disponible: <https://lumsearch.com/es/article/kfpGv9HVRpK4VJObTC7eog>
- [34] Catalogo No. 1, Catalogo de iluminación general, Philips, España, ES.
- [35] NASA. (2019, May 01). POWER Data Access Viewer [En línea]. Disponible: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [36] ATERSA. (2019, May 04). Panel Solar 360W A-360M ATERSA GS [En línea]. Disponible: <https://atersa.shop/panel-solar-360w-a-360m-atersa-gs>
- [37] FULLRIVER. (2019, May 05). AGM Technology VRLA Battery DC240-12 [En línea]. Disponible: <http://www.fullriver.com/products/admin/upfile/DC240-12.pdf>
- [38] STECA. (2019, May 07). Reguladores de carga solar, Steca Power Tarom 2070, 2140, 4055, 4110, 4140 [En línea]. Disponible: <https://www.steca.com/index.php?Steca-Power-Tarom-en#productdownload>

- [39] VICTRON ENERGY. (2019, May 08). Inversores Phoenix 1200VA-5000VA (por módulo) [En línea]. Disponible: <https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-Phoenix-Inverter-1200VA-5000VA-ES.pdf>
- [40] GENERAL CABLE. (2019, May 10). Exzhellent solar ZZ-F (AS) 1.8 kV DC - 0.6/1 Kv AC [En línea]. Disponible: [https://cdn.generalcable.com/assets/documents/LATAM%20Documents/Chile%20Site/Productos%20y%20Soluciones/ERNC/Solares/Exzhellent-Solar-ZZ-F-\(AS\).pdf?ext=.pdf](https://cdn.generalcable.com/assets/documents/LATAM%20Documents/Chile%20Site/Productos%20y%20Soluciones/ERNC/Solares/Exzhellent-Solar-ZZ-F-(AS).pdf?ext=.pdf)
- [41] GENERAL CABLE. (2019, May 10). Exzhellent RZ1-K (AS) - Libre de halógenos 0,6/1 kV [En línea]. Disponible: https://www.generalcable.com/eu/gc_pvapp/1959#page/64
- [42] EATON. (2019, May 20). Bussmann series 14× 51 mm Photovoltaic fuse links [En línea]. Disponible: <http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/bussmann/iec-electrical/resources/data-sheets/bus-iec-ds-720132-14x51pvfuselinks.pdf>
- [43] SOCOMEC. (2019, May 20). Interruptores-seccionadores para aplicaciones fotovoltaicas de 100 a 3200 A, hasta 1500 VDC [En línea]. Disponible: https://www.socomec.es/files/live/sites/systemsite/files/SCP/pdf_catalogue/ESP/cat_sircopviec_es.pdf
- [44] EATON. (2019, May 21). Bussmann series NH photovoltaic fuse links [En línea]. Disponible: <http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/bussmann/iec-electrical/resources/data-sheets/bus-iec-ds-720133-nhpvfuselinks.pdf>
- [45] EKOLINE. (2019, May 22). Interruptor diferencial magnético [En línea]. Disponible: https://www.gobantes.cl/fichas_tecnicas/0606365_ficha.pdf
- [46] SCHNEIDER ELECTRIC. (2019, May 23). Interruptor automático magnetotérmico - C60N - 2 polos - 25 A - curva D [En línea]. Disponible: <https://www.se.com/es/es/product/24526/interruptor-autom%C3%A1tico-magnetot%C3%A9rmico---c60n---2-polos---25-a---curva-d/>
- [47] SCHNEIDER ELECTRIC. (2019, May 24). Interruptor automático magnetotérmico - C60N - 2 polos - 6 A - curva C [En línea]. Disponible:

<https://www.se.com/es/es/product/24447/interruptor-autom%C3%A1tico-magnetot%C3%A9rmico---c60n---2-polos---6-a---curva-c/>

[48] SCHNEIDER ELECTRIC. (2019, May 22). Interruptor automático magnetotérmico - iK60N 1P+N - 16A - curva C [En línea]. Disponible: <https://www.se.com/es/es/product/A9K17616/interruptor-autom%C3%A1tico-magnetot%C3%A9rmico---ik60n---1p%2Bn---16-a---curva-c/>

[49] VICTRON ENERGY. (2019, Jun 01). Paneles monocristalinos BlueSolar [En línea]. Disponible: <https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-Monocrystalline-Panels-ES.pdf>

[50] VICTRON ENERGY. (2019, Jun 02). Baterías Gel y AGM [En línea]. Disponible: <https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-ES.pdf>

[51] STECA. (2019, Jun 07). Reguladores de carga solar, Steca Solsum 2525, 4040 [En línea]. Disponible: https://www.steca.com/frontend/standard/popup_download.php?datei=productdatasheet/Steca-Solsum-es.pdf&tfn=Steca+Solsum+productdatasheet+ES

[52] SOCOMEC. (2019, Jun 10). Interruptores-seccionadores para aplicaciones fotovoltaicas de 25 a 40 A, hasta 1000 VDC [En línea]. Disponible: https://www.socomec.es/files/live/sites/systemsite/files/SCP/pdf_catalogue/ESP/cat_sircomcp_viec_es.pdf

[52] INAMHI. (2019, Jun 12). Anuario Meteorológico [En línea]. Disponible: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf

[53] ARCONEL. (2019, Jun 13). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado [En línea]. Disponible: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/Pliego-Tarifario-SPEE-2019.pdf>

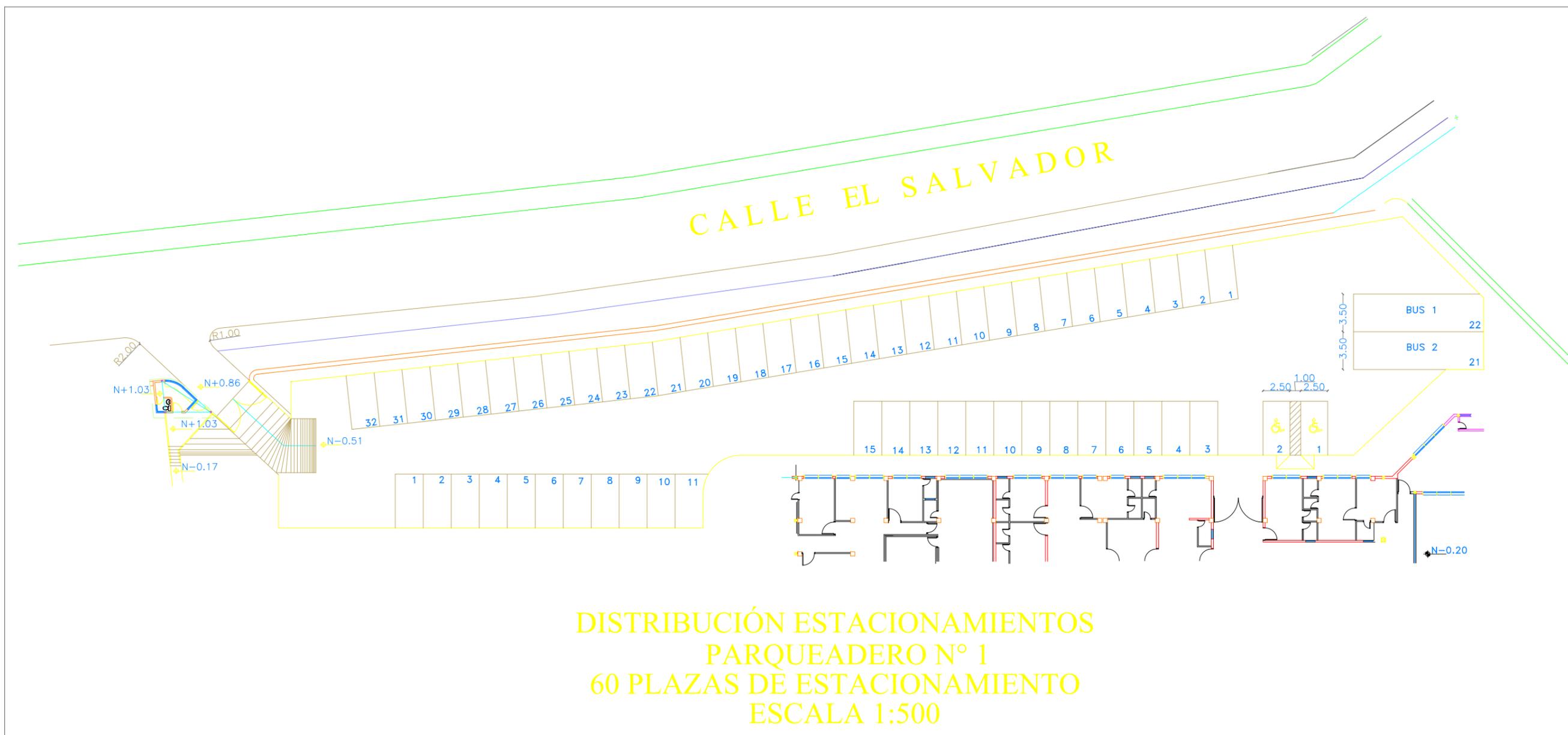
[54] BOE. (2019, Abr 10). Reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT 01 A BT 51 [En línea]. Disponible:

https://www.boe.es/legislacion/codigos/abrir_pdf.php?fich=326_Reglamento_electrotecnico_para_baja_tension_e_ITC.pdf

[55] DIGISENSE. (2019, Jun 24). User Manual, data logging light meter model 20250-00 [Online]. Available: <https://pim-resources.coleparmer.com/instruction-manual/digi-sense-20250-00-data-logging-light-meter-instruction-manual.pdf>

ANEXOS

Anexo 1: Parqueadero N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



Anexo 2: Especificaciones técnicas del luxómetro Digisense Modelo 20250-00.

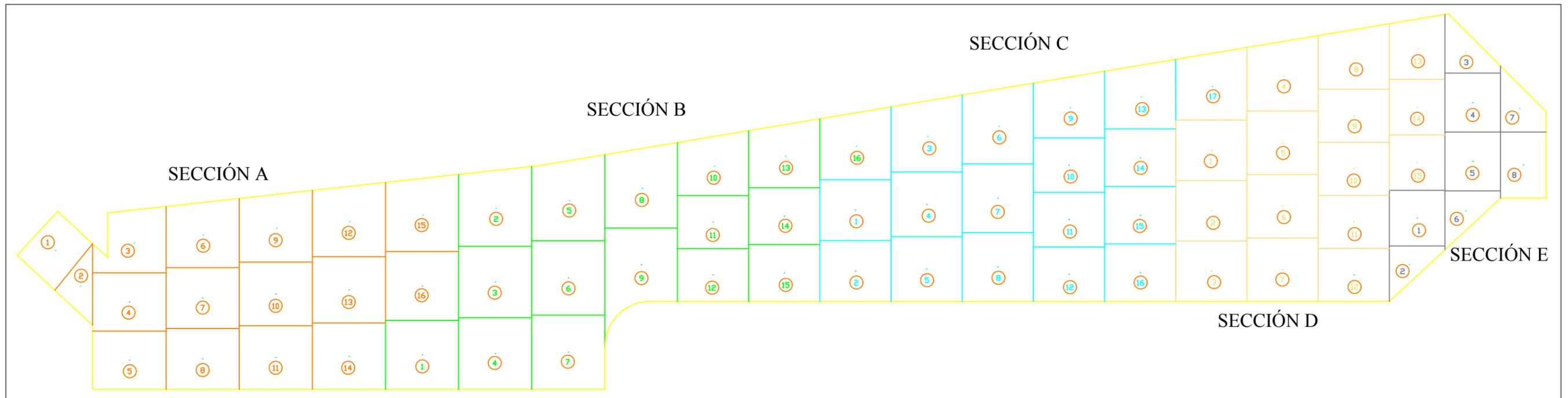
Specifications	
Range	0 to 400,000 Lux; 0 to 40,000 Fc
Resolution	0.01 Lux/Fc
Accuracy	±3% rdg ±0.5% full-scale (<10,000 Lux), ±4% rdg ± 10 digits (>10,000 Lux)
Sampling rate	User-selectable (default of once per second)
Data logging	Meter stores up to 99 measurements; software records/stores up to 87,000 measurements
Display	4000-count backlit LCD
Overload display	"OL" displayed for overload indication
Spectral response	CIE appropriate light (CIE eye response curve)
Spectral accuracy	CIE V_{λ} function $f1' \leq 6\%$
Cosine response	$f2' \leq 2\%$
Light sensor probe	Silicone light diode with spectral response filter
Light probe cable length	4.9 ft (150 cm)
Operating temperature	32 to 122°F (0 to 50°C)
Operating humidity	<90% RH, noncondensing
Storage temperature	14 to 158°F (-10 to 70°C)
Weight	12.3 oz (349 g)
Dimensions	2" x 6 ³ / ₈ " x 1" (5 x 16 x 2.7 cm)
Power supply	Three AAA batteries

Anexo 3: Medición de los niveles actuales de iluminación en el parqueadero N° 1 de la U.T.C.

Punto Núm.	Iluminación mínima (lx)	Iluminación máxima (lx)	Iluminación promedio (lx)
Sección A			
1	12,7	12,9	12,80
2	7,4	10,6	9,00
3	9,8	10,3	10,05
4	6,9	7,1	7,00
5	4,7	4,9	4,80
6	8,4	8,6	8,50
7	5,9	6,0	5,95
8	4,5	4,6	4,55
9	6,9	7,0	6,95
10	5,4	5,6	5,50
11	4,4	4,5	4,45
12	6,8	7,0	6,90
13	5,9	6,1	6,00
14	4,7	5,0	4,85
15	11,6	11,7	11,65
16	8,1	8,4	8,25
Sección B			
1	6,0	6,3	6,15
2	15,0	15,2	15,10
3	11,0	11,4	11,20
4	11,9	12,5	12,20
5	9,7	9,8	9,75
6	24,6	25	24,80
7	40,7	44,7	42,70
8	7,8	8,0	7,90
9	23,3	23,9	23,60
10	11,7	11,9	11,80
11	8,3	8,6	8,45
12	10,4	10,9	10,65
13	15,2	15,7	15,45
14	31,2	32,7	31,95
15	21,7	21,9	21,80
16	21,8	22,4	22,10
Sección C			
1	53,3	54,4	53,85
2	77,5	78,2	77,85
3	21,2	22,2	21,70
4	52,3	53,4	52,85
5	88,9	90,2	89,55
6	19,3	19,7	19,50
7	37,0	37,5	37,25
8	48,0	49,4	48,70
9	13,9	14,1	14,00
10	29,8	30,1	29,95
11	58,2	58,9	58,55

12	67,9	68,5	68,20
13	10,1	11,6	10,85
14	18,6	18,8	18,70
15	34,7	35,5	35,10
16	35,0	35,4	35,20
17	1,5	1,6	1,55
Sección D			
1	9,7	9,8	9,75
2	10,1	10,5	10,30
3	8,6	8,8	8,70
4	3,4	3,5	3,45
5	4,9	5,3	5,10
6	5,5	5,6	5,55
7	3,4	3,5	3,45
8	3,1	3,2	3,15
9	4,2	4,5	4,35
10	6,8	7,1	6,95
11	10,5	10,7	10,60
12	17,2	17,8	17,50
13	1,7	2,1	1,90
14	0,5	0,6	0,55
15	3,2	3,3	3,25
Sección E			
1	15,4	15,5	15,45
2	25,3	25,7	25,50
3	1,1	1,3	1,20
4	0,9	1,1	1,00
5	10,0	10,3	10,15
6	16,3	17,1	16,70
7	0,6	0,7	0,65
8	5,8	6,0	5,90

Anexo 4: Puntos de medición para estudio de iluminación.



Anexo 5: Sistema de iluminación LED.



Anexo 6: Especificaciones técnicas luminaria LED 134 W.

Luma	
Información general	
Número de fuentes de luz	80 [80 piezas]
Código familia de lámparas	LED220 [LED module 22000 lm]
Versión de lámpara	4S [4th generation, screw fixation]
Aprobación y aplicación	
Código de protección de entrada	IP66 [Protección frente a la penetración de polvo, protección frente a chorros de agua a presión]
Condiciones de aplicación	
Rango de temperatura ambiente	-40 °C a +50 °C
Operativos y eléctricos	
Tensión de entrada	220-240 V
Frecuencia de entrada	50 a 60 Hz
Corriente de arranque	53 A
Tiempo de irrupción	0,3 ms
Temperatura de color	740 blanco neutro
Fuente de luz sustituible	Si
Número de unidades de equipo	1
Rendimiento inicial (conforme con IEC)	
Flujo lumínico inicial	19580 lm
Tolerancia de flujo lumínico	+/-7%
Eficacia de la luminaria LED inicial	146 lm/W
Índice inic. de temperatura de color	4000 K
Inic. Índice de reproducción del color	≥70
Cromaticidad inicial	(0.382, 0.379) SDCM <5
Potencia de entrada inicial	134 W
Driver/unidad de potencia/transformador	PSDD [Unidad de fuente de alimentación con DynaDimmer]
Driver incluido	Si
Control gear failure rate at median useful life 100000 h	10 %
	

Anexo 7: Especificaciones técnicas luminaria LED 245 W.

Luma	
Información general	
Número de fuentes de luz	140 [140 piezas]
Código familia de lámparas	LED400 [LED module 40000 lm]
Versión de lámpara	4S [4th generation, screw fixation]
Temperatura de color	740 blanco neutro
Fuente de luz sustituible	Si
Número de unidades de equipo	1
Aprobación y aplicación	
Código de protección de entrada	IP66 [Protección frente a la penetración de polvo, protección frente a chorros de agua a presión]
Condiciones de aplicación	
Rango de temperatura ambiente	-40 °C a +50 °C
Operativos y eléctricos	
Tensión de entrada	220-240 V
Frecuencia de entrada	50 a 60 Hz
Corriente de arranque	53 A
Tiempo de irrupción	0,3 ms
Rendimiento inicial (conforme con IEC)	
Flujo lumínico inicial	35600 lm
Tolerancia de flujo lumínico	+/-7%
Eficacia de la luminaria LED inicial	145 lm/W
Índice inic. de temperatura de color	4000 K
Inic. Índice de reproducción del color	≥70
Cromaticidad inicial	(0.382, 0.379) SDCM <5
Potencia de entrada inicial	245 W
Driver/unidad de potencia/transformador	PSDD [Unidad de fuente de alimentación con DynaDimmer]
Driver incluido	Si
Control gear failure rate at median useful life 100000 h	10 %
	

Anexo 8: Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico de 24 V/360 W.

Módulos fotovoltaicos para el futuro 

➔ **Garantía, 10 años** contra defectos de fabricación y **25 años** en rendimiento (80% potencia de salida).



Características eléctricas		A-360M GS
Potencia Máxima (P_{max})		360 W
Tensión Máxima Potencia (V_{mp})		39.39 V
Corriente Máxima Potencia (I_{mp})		9.14 A
Tensión de Circuito Abierto (V_{oc})		47.65 V
Corriente en Cortocircuito (I_{sc})		9.69 A
Eficiencia del Módulo (%)		18.55

Características de temperatura	
Coef. Temp. de I_{sc} (TK I_{sc})	0.05% /°C
Coef. Temp. de V_{oc} (TK V_{oc})	-0.32% /°C

Materiales de construcción	
Cubierta frontal (material/tipo/espesor) (*)	Cristal templado alta transmisión/bajo nivel hierro/3.2 mm
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	72 pzas (6x12)/Monocristalina /156.75 x 156.75 mm

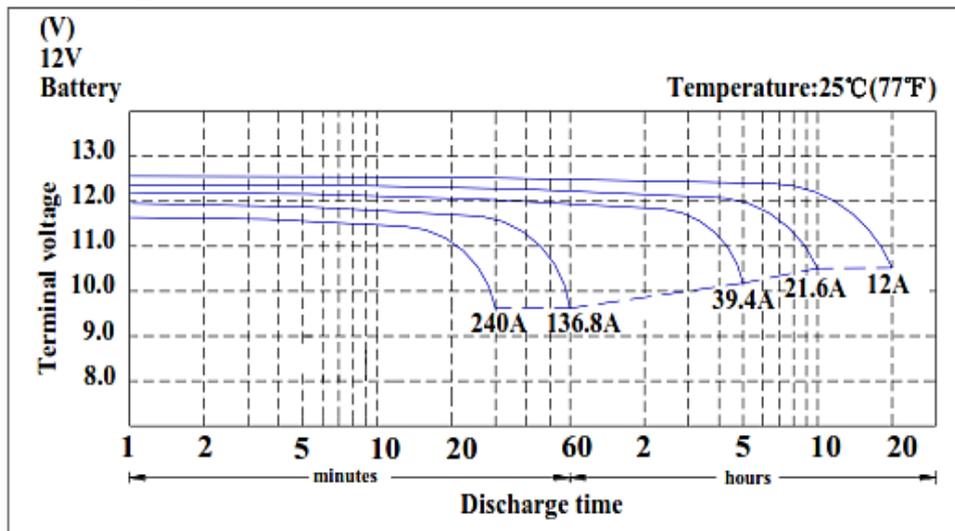
Anexo 9: Especificaciones técnicas de la batería de 12 V/240 Ah.

□ DC240-12 AGM Technology VRLA Battery

Specifications

Nominal Voltage		12V
Rated Capacity (20 hour rate)		240AH
Dimension	Total Height (with terminals)	208mm(8.19inches)
	Height	204mm(8.03inches)
	Length	520mm(20.47inches)
	Width	269mm(10.59inches)
Weight		Approx.73.5kg (162.04lbs)

Discharge characteristics 77°F (25°C)



Charging (Constant Voltage)	Cycle	Initial Charging Current 48A Or Small 14.5V~14.9V/77°F (25°C)
	Float	13.6V~13.8V/77°F (25°C)

Max. Discharge Current 77°F (25°C)	2400A (5s)
---------------------------------------	------------

FULLRIVER

DC BATTERIES

Anexo 10: Especificaciones técnicas del regulador de carga de 48 V/110 A.

Steca Power Tarom					
2070, 2140, 4055, 4110, 4140					
Especialmente concebido para aplicaciones industriales y al aire libre, el Steca Power Tarom se suministra en una carcasa de acero recubierto de polvo sinterizado con grado de protección IP 65.					
	2070	2140	4055	4110	4140
Funcionamiento					
Tensión del sistema	12 V (24 V)		48 V		
Consumo propio	14 mA				
Datos de entrada CC					
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 50 V		< 100 V		
Corriente del módulo	70 A	140 A	55 A	110 A	140 A
Datos de salida CC					
Corriente de consumo	70 A	70 A	55 A	55 A	70 A
Tensión final de carga	13,7 V (27,4 V)		54,8 V		
Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8 V)		57,6 V		
Carga de compensación	14,7 V (29,4 V)		58,8 V		
Tensión de reconexión (SOC / LVR)	> 50 % / 12,6 V (25,2 V)		> 50 % / 50,4 V		
Protección contra descarga profunda (SOC / LVD)	< 30 % / 11,1 V (22,2 V)		< 30 % / 44,4 V		
Condiciones de uso					
Temperatura ambiente	-10 °C ... +60 °C				

Anexo 11: Especificaciones técnicas del inversor de 48 V/5000 VA.

 victron energy <small>B L U E P O W E R</small>	
Inversor Phoenix	24/5000 48/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Sí
INVERSOR	
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V
Salida	Salida: 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)
Potencia cont. de salida 25°C (VA) (2)	5000
Potencia cont. de salida 25°C (W)	4000
Potencia cont. de salida 40°C (W)	3700
Potencia cont. de salida 65°C (W)	3000
Pico de potencia (W)	10000
Eficacia máx. 12/ 24 /48 V (%)	94 / 95

Anexo 12: Especificaciones técnicas del cable tipo Exzhellent Solar ZZ-F (AS).

exZhellent SOLAR

CABLES CORRIENTE CONTINUA
Conexión para paneles fotovoltaicos



EXZHELLENT SOLAR ZZ-F (AS) 1.8 kV DC - 0.6/1 kV AC

Conductor : Conductor estañado clase 5 para servicio móvil (-F)

Aislación : Elastómero termoestable libre de halógenos (Z)

Cubierta : Elastómero termoestable libre de halógenos (Z)

Norma Constructiva : AENOR EA 0038
TÜV 2 Pfg 1169/08.2007 cables para paneles solares.

Norma Nac / Europea : UNE-EN 60332-1-2
UNE-EN 50226-2-4
UNE-EN 50267
UNE EN 61034-2

Internacional : IEC 60332-1-2
IEC 60332-3-24
IEC 60754
IEC 61034-2

















La serie de cables EXZHELLENT SOLAR (AS), está constituida por cables flexibles monoconductores de tensión 1,8 kV en corriente continua (cc)

Son cables específicos para instalaciones solares fotovoltaicas (pV), capaces de soportar las extremas condiciones ambientales que se producen en este tipo de instalaciones.

Sus características principales son:

- :: Servicio móvil.
- :: Alta seguridad. **Especialmente diseñado para no dañar los paneles solares.**
- :: Resistencia a la intemperie.
- :: Trabajo a muy baja temperatura (-40°C)
- :: Resistencia a la abrasión, el desgarro y los aceites y grasas industriales.
- :: Endurecimiento térmico de los materiales para garantizar una vida útil de 30 años.

La temperatura máxima del conductor en servicio permanente es de 90°C, pudiendo soportar temperaturas de 120°C durante 20.000 horas

EXZHELLENT SOLAR ZZ-F (AS) 1.8 kV DC - 0.6/1 kV AC					
SECCIÓN	DIÁMETRO EXTERIOR	PESO	RADIO MÍNIMO CURVATURA	RESISTENCIA MAX DEL CONDUCTOR	INTENSIDAD ALAIRE / 40°C
mm ²	mm	kg/Km	mm	Ohm/km	A
1x2,5	5,0	50	20	8,21	41
1x4	5,6	65	23	5,09	55
1x6	6,8	85	26	3,39	70
1x10	7,9	140	32	1,95	96
1x16	8,8	200	35	1,24	132

Anexo 13: Especificaciones técnicas del cable tipo Exzhellent RZ1-K (AS).



EXZHELLENT® Class 1000 V

RZ1-K (AS) - Libre de halógenos 0,6/1 kV

CONSTRUCCIÓN:

1. CONDUCTOR
Cobre, clase 5 según IEC 60228. Sectorial para secciones de 50 mm² y superiores (solución Sectorflex®).

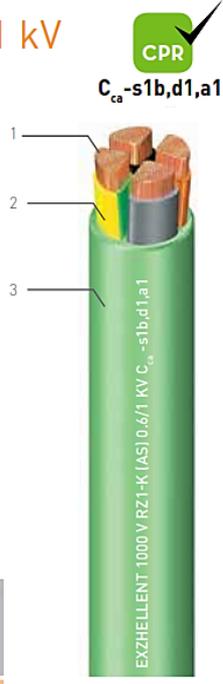
2. AISLAMIENTO
Poliétileno reticulado, tipo XLPE según IEC 60502-1
Identificación por color.

3. CUBIERTA EXTERIOR
Polioléfina termoplástica libre de halógenos, tipo ST8 según IEC 60502-1.

APLICACIONES:
Circuitos eléctricos en locales de pública concurrencia y otras instalaciones donde exista un alto riesgo de incendio.
Temperatura máxima del conductor: +90 °C
Temperatura mínima de trabajo: -40 °C

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ELÉCTRICAS:

Código de General Cable	Sección (mm ²)	Diámetro nominal exterior (mm)	Peso nominal (kg/km)	Radio mínimo de curvatura (mm)	Intensidad máx. admisible al aire 30 °C ** (A)	Directamente enterrado 25 °C *** (A)	Caída de tensión cos $\mu=0,8$ (V/A.km)
1S48106	1x1,5	6,6	61	27	19	23	23,7
1S48107	1x2,5	7,0	74	29	27	30	14,2
1S48108	1x4	7,6	92	31	37	39	8,88
1S48109	1x6	8,1	115	33	48	48	5,96
1S48110	1x10	9,1	160	37	67	64	3,49
1S48111	1x16	9,9	215	40	91	83	2,25
1S48113	1x35	12,6	405	51	153	128	1,08
1S48114*	1x50	14,1	545	57	188	152	0,776
1S48115*	1x70	16,2	745	65	243	187	0,570
1S48116*	1x95	17,8	950	72	298	222	0,451
1S48117*	1x120	19,8	1.190	80	348	253	0,369



CPR
C_{ca}-s1b,d1,a1



Anexo 14: Especificaciones técnicas del fusible de 15 A para la protección del generador.

Technical Data 720132		Effective September 2015 Supersedes May 2015		BUSSMANN SERIES	
------------------------------	--	---	--	----------------------------	--

Bussmann series 14 x 51 mm Photovoltaic fuse links

Table 1. Technical data

Catalogue number	Rated current (Amps)	Rated voltage (V d.c.)	Energy integrals I ² t (A ² s)		Watts loss	
			Pre-arcing	Total at rated voltage	08 I _n	I _n
PV-15A14F	15	1100	14	265	2.1	4
PV-20A14F	20	1100	27	568	2.7	5
PV-25A14F	25	1000	65	943	2.7	5.1
PV-32A14F	32	1000	120	1740	3.3	6.2

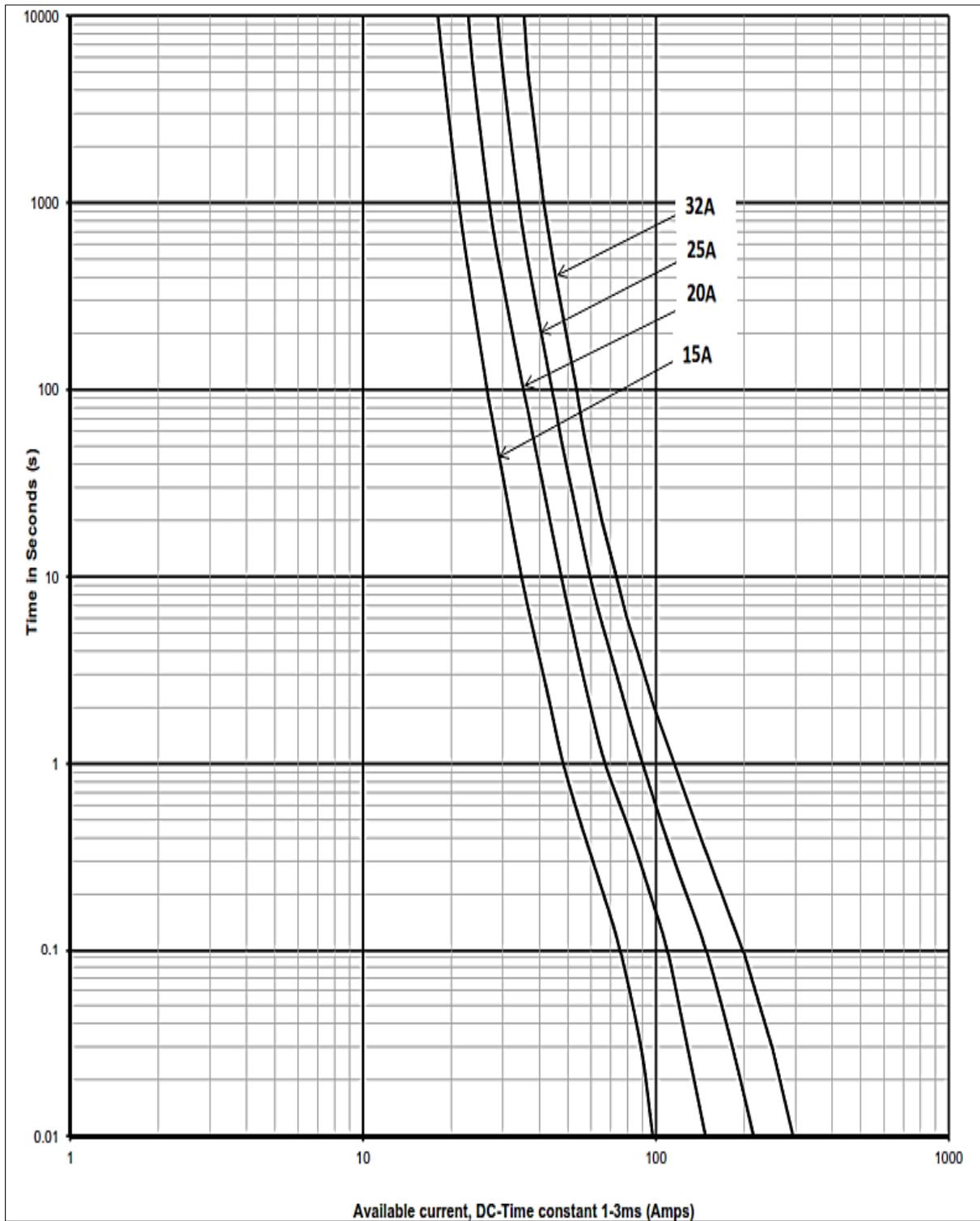
Technical data

- Rated voltage:
 - 1000 V d.c. (25 and 32 A)
 - 1100 V d.c. (15 and 20 A)
- Rated current: 15 to 32 A
- Breaking capacity: 10 kA
- Class of operation: gPV and UL PV fuse links
- PV fuse coordinationw/: Thin film cells and 4", 5" and 6" crystalline silicon cells
- Time constant: 1-3 ms
- Minimum interrupting rating:
 - 1.5 x I_n for 15 - 20 A
 - 1.75 x I_n for 25 - 32 A



EATON
Powering Business Worldwide

Anexo 15: Curva tiempo-corriente del fusible de 15 A para la protección del generador.



Anexo 16: Especificaciones técnicas del interruptor seccionador 2P de 100 A del SFV.

SIRCO PV IEC 60947-3

Interruptores-seccionadores para aplicaciones fotovoltaicas
de 100 a 3200 A, hasta 1500 VDC

Referencias

1000 VDC - Montaje en placa de fondo

Calibre (A)	Tamaño del equipo	Número de polos	Cuerpo del interruptor	Mando directo	Mando exterior	Eje para mando exterior
1 circuito fotovoltaico						
100 A	B4	2 P	26PV 2010	Tipo J1 Negro 1112 1111 Rojo 1113 1111	Tipo S2 ⁽¹⁾ Negro IP55 1421 2111 Negro IP65 1423 2111 Rojo IP65 1424 2111	200 mm 1400 1020 320 mm 1400 1032 400 mm 1400 1040
160 A	B4	2 P	26PV 2016			
250 A	B4	2 P	26PV 2025			
315 A	B4	2 P	26PV 2031			
400 A	B4	4 P	26PV 4040			
500 A	B4	4 P	26PV 4050			
630 A	B5	4 P	26PV 4063			
800 A	B5	4 P	26PV 4080			

Anexo 17: Especificaciones técnicas del fusible de 110 A para la protección de la batería de acumuladores.

BUSSMANN

SERIES

Technical Data 720133

Bussmann series NH photovoltaic fuse links

Table 1. Technical data - Blade without bolt holes

Catalogue number	Fuse size	Current rating (amps)	Energy integrals I^2t (A ² S)		Watts loss (W)	
			Pre-arcing	Total at 1000 V	$0.8I_n$	I_n
PV-32ANH1	NH1	32	80	720	4	8.5
PV-40ANH1	NH1	40	185	1670	5	9
PV-50ANH1	NH1	50	400	3600	6	11
PV-63ANH1	NH1	63	470	4300	6	12
PV-80ANH1	NH1	80	640	5760	8	15.5
PV-100ANH1	NH1	100	1300	11700	8	16.5
PV-110ANH1	NH1	110	2100	18900	9	18.5
PV-125ANH1	NH1	125	2600	23400	9	17.5
PV-160ANH1	NH1	160	5200	46800	14	27.5
PV-175ANH1	NH1	175	8300	74700	15	29
PV-200ANH1	NH1	200	10200	82000	13	25

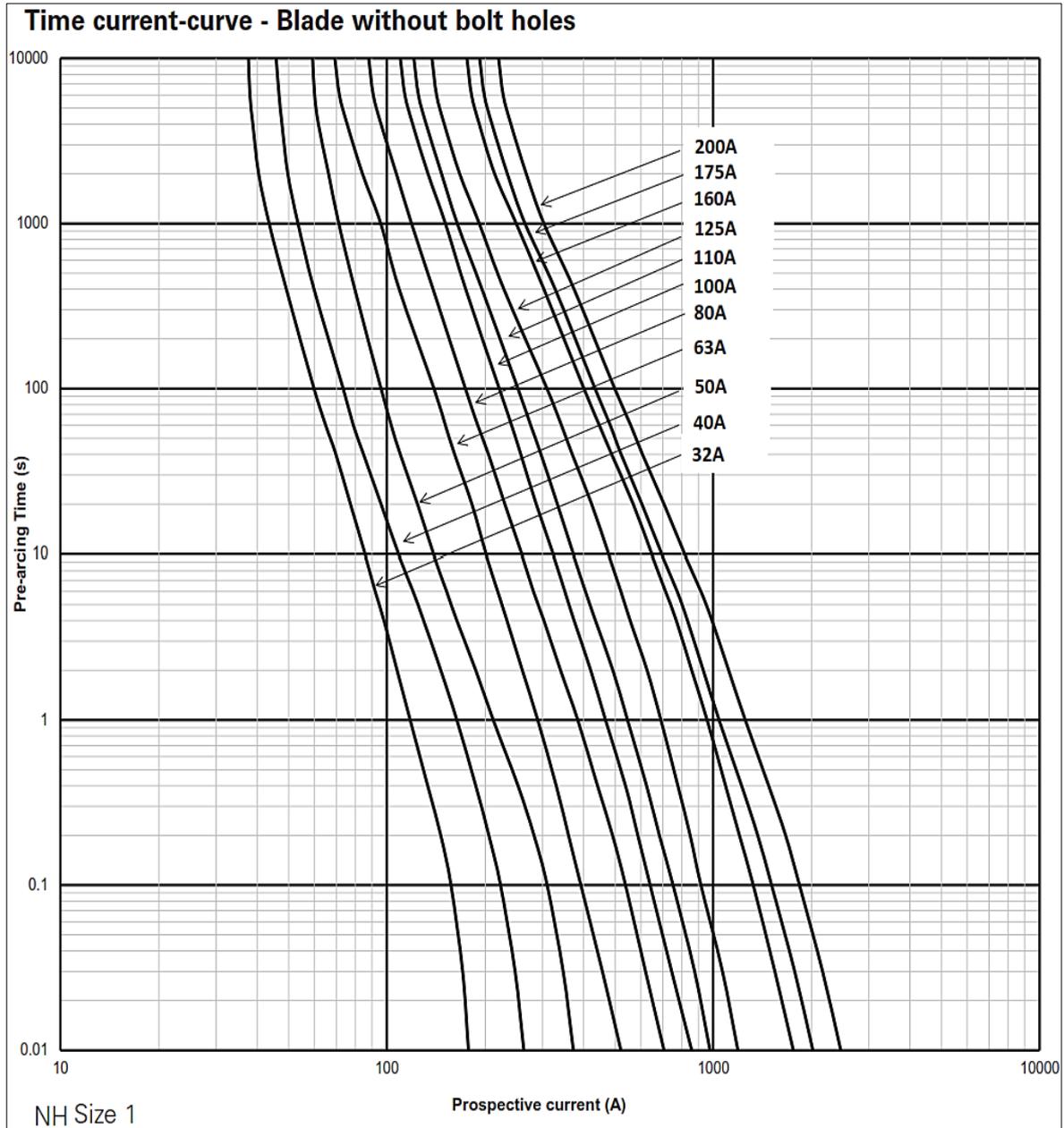
Technical data

- Volts: 1000 V d.c.
- Amps: 32 to 400 A
- Breaking capacity: 50 kA
- Time constant: 1-3mS
- Class of operation: gPV and UL PV fuse links



Powering Business Worldwide

Anexo 18: Curva tiempo-corriente del fusible de 110 A para la protección de la batería de acumuladores.



Anexo 19: Especificaciones técnicas del interruptor automático magnetotérmico 2P de 25 A para la protección del inversor.

24526

Interruptor automático magnetotérmico - C60N - 2 polos - 25 A - curva D

Principal

Gama	Multi 9
Nombre del producto	Multi 9 C60
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	C60 UL1077
Aplicación del dispositivo	Distribución
Número de polos	2P
Número de polos protegidos	2
Posición de neutro	Izquierda
[In] Corriente nominal	25 A en 25 °C
Tipo de red	AC DC
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	D
Capacidad de corte	Aire 10 kA en 240 V AC acorde a UL 1077 Aire 10 kA en 240 V AC acorde a CSA C22.2 No 235 Aire 10 kA en 125 V CC de acuerdo con UL 1077 Aire 10 kA en 125 V DC acorde a CSA C22.2 No 235 Icu 6 kA en 440 V AC acorde a EN/IEC 60947-2 Icu 10 kA en 415 V CA de acuerdo con EN/IEC 60947-2 Icu 20 kA en 240 V CA de acuerdo con EN/IEC 60947-2 Icu 6 kA en 440 V CA de acuerdo con GB 14048.2 Icu 10 kA en 415 V CA de acuerdo con GB 14048.2 Icu 20 kA en 240 V CA de acuerdo con GB 14048.2 Aire 5 kA en 480Y/277 V CA de acuerdo con UL 1077 Aire 5 kA en 480Y/277 V AC acorde a CSA C22.2 No 235 Icu 10 kA en 125 V CC de acuerdo con EN/IEC 60947-2 Icu 10 kA en 125 V CC de acuerdo con GB 14048.2

Complementario

Frecuencia de red	50/60 Hz
[Ue] Tensión nominal de empleo	125 V DC 440 V AC 240 V AC 415 V AC

Life Is On

Schneider
Electric

Anexo 20: Especificaciones técnicas del interruptor diferencial 2P de 25 A.

 <p>Ekoline MATERIALES ELÉCTRICOS</p>	FICHA TÉCNICA
INTERRUPTOR DIFERENCIAL MAGNÉTICO/ Código: 0606365	
	<p>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO:</p> <p>Interruptor diferencial magnético EKOLINE. Para protección a las personas y equipos.</p> <p>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:</p> <p>Numero de polos: 2 Según norma: IEC 61008-1 Corriente nominal: 25A Sensibilidad: 30mA Tensión servicio: 240V Frecuencia nominal: 50/60Hz Tipo AC</p> <p>Montaje sobre riel DIN. IP20</p>

Anexo 21: Especificaciones técnicas del interruptor automático magnetotérmico 2P de 6 A para la protección del circuito de utilización.

24447

Interruptor automático magnetotérmico - C60N - 2 polos - 6 A - curva C

Principal

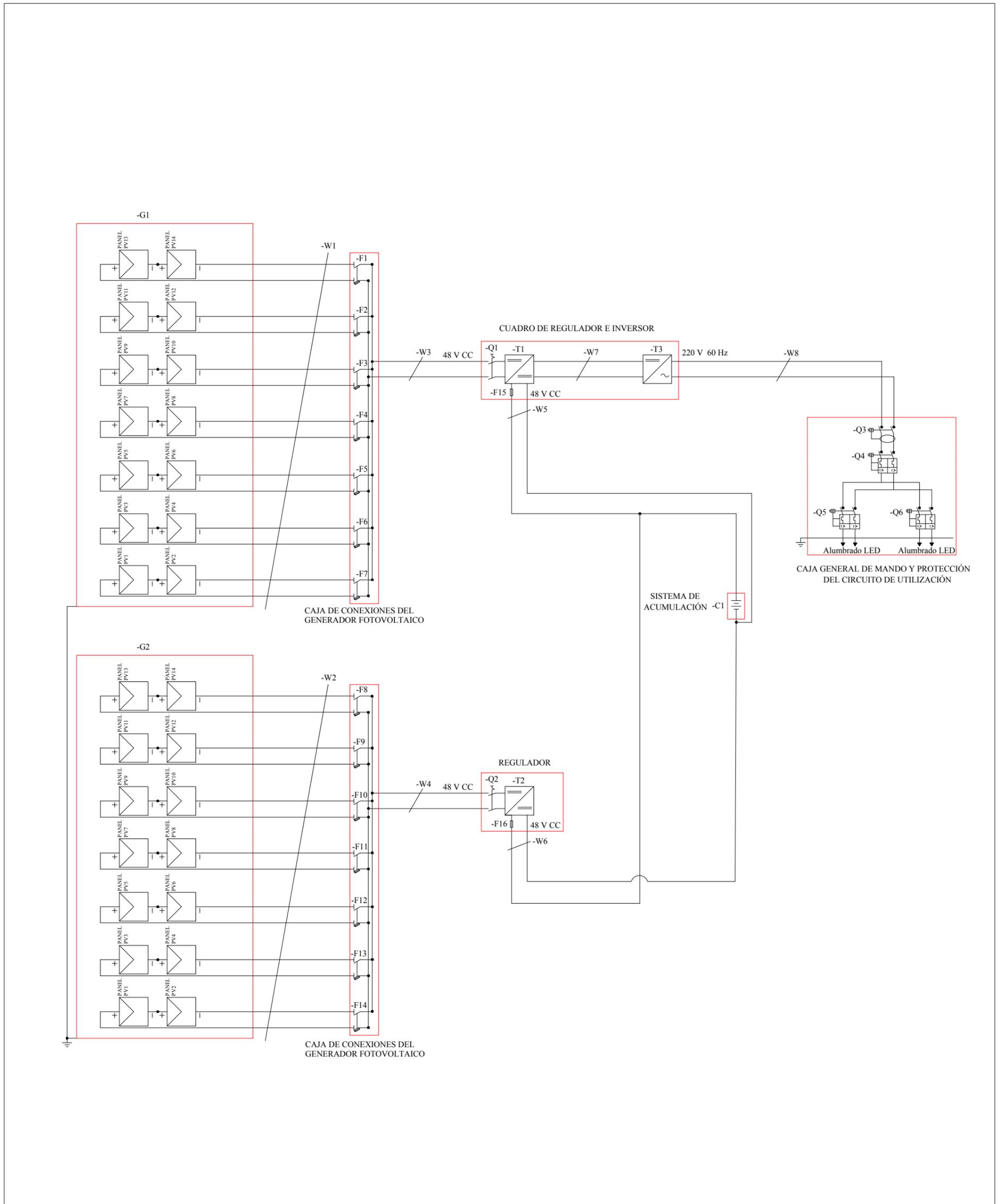
Gama de producto	C60
Gama	Multi 9
Nombre del producto	Multi 9 C60
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	C60 UL1077
Aplicación del dispositivo	Distribución
Número de polos	2P
Número de polos protegidos	2
Posición de neutro	Izquierda
[In] Corriente nominal	6 A en 25 °C
Tipo de red	AC DC
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	C
Capacidad de corte	Aire 10 kA en 240 V AC acorde a UL 1077 Aire 10 kA en 240 V AC acorde a CSA C22.2 No 235 Aire 10 kA en 125 V CC de acuerdo con UL 1077 Aire 10 kA en 125 V DC acorde a CSA C22.2 No 235 Icu 6 kA en 440 V AC acorde a EN/IEC 60947-2 Icu 10 kA en 415 V CA de acuerdo con EN/IEC 60947-2 Icu 20 kA en 240 V CA de acuerdo con EN/IEC 60947-2 Icu 6 kA en 440 V CA de acuerdo con GB 14048.2 Icu 10 kA en 415 V CA de acuerdo con GB 14048.2 Icu 20 kA en 240 V CA de acuerdo con GB 14048.2 Aire 5 kA en 480Y/277 V CA de acuerdo con UL 1077 Aire 5 kA en 480Y/277 V AC acorde a CSA C22.2 No 235 Icu 10 kA en 125 V CC de acuerdo con EN/IEC 60947-2 Icu 10 kA en 125 V CC de acuerdo con GB 14048.2

Complementario

Frecuencia de red	50/60 Hz
[Ue] Tensión nominal de empleo	125 V DC 440 V AC 240 V AC 415 V AC



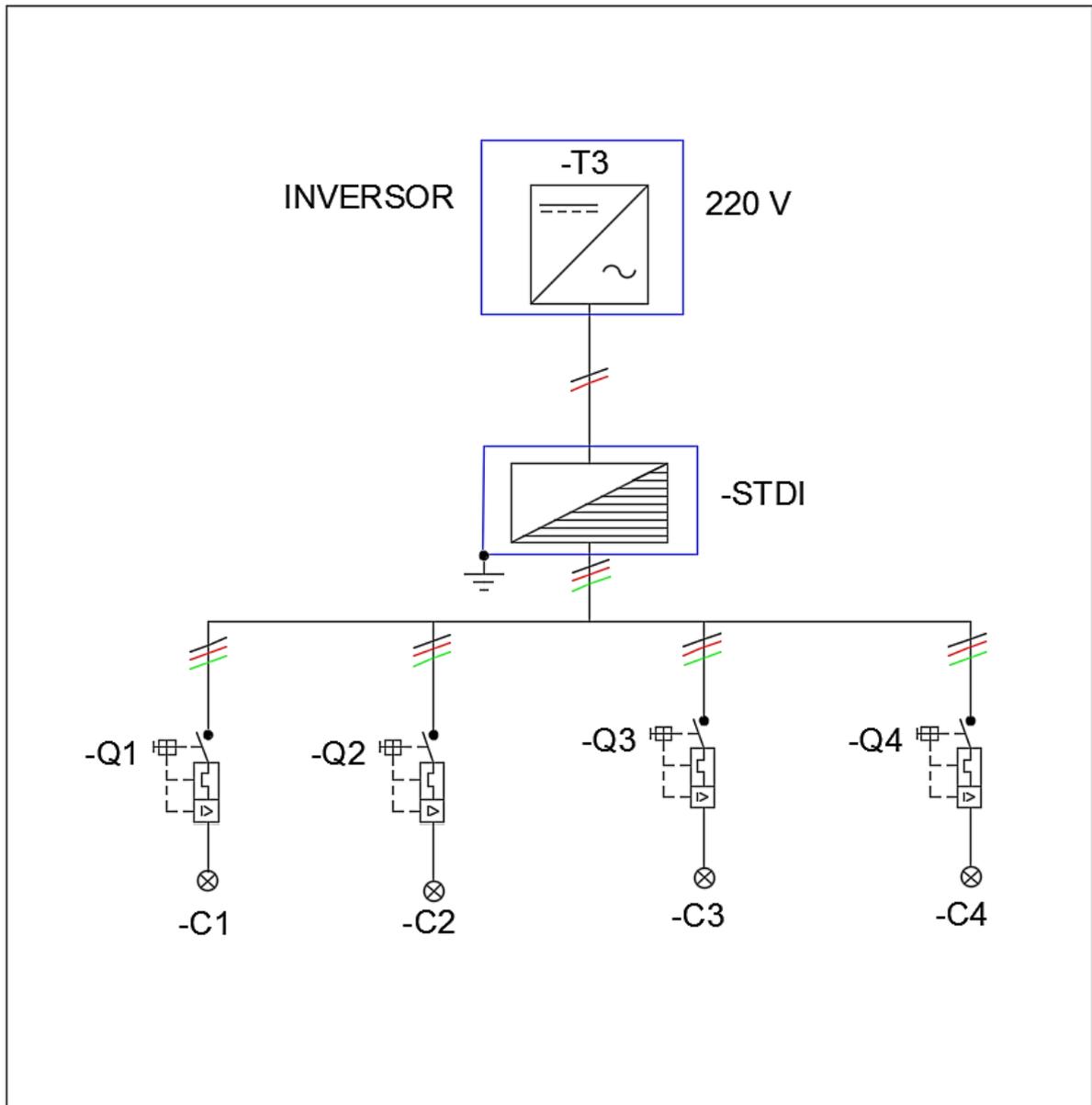
Anexo 22: Diagrama multifilar del sistema fotovoltaico.



SÍMBOLO	TIPO
-G1,-G2	7 módulos en paralelo y 2 en serie de 360 W - 24V
-F1.....F14	14 seccionadores portafusibles de 15 A gPV+neutro
-F15,-F16	2 seccionadores portafusibles de 110 A gPV
-C1	7 baterías en paralelo y 4 en serie de 12 V - 240 Ah
-T1,-T2	2 reguladores de 48 V - 110 A
-T3	Inversor 5000 VA - 48 V CC / 230 V CA
-W1,-W2	Canaleta con tapa+14 (1x4 mm ²) ZZ-F (AS) 0,6/1 kV
-W3,-W4	Canaleta con tapa+4 (1x35 mm ²) ZZ-F (AS) 0,6/1 kV
-W5,-W6	Canaleta cerrada+4 (1x16 mm ²) RZ1-K (AS) 0,6/1 kV
-W7	Canaleta cerrada+2 (1x50 mm ²) RZ1-K (AS) 0,6/1 kV
-W8	Canaleta cerrada+2 (1x10 mm ²) RZ1-K (AS) 0,6/1 kV
-Q1,-Q2	2 Interruptores seccionadores de 100 A/1000 V CC
-Q3	Interruptor diferencial bipolar de 25 A/240 V CA
-Q4	Interruptor magnetotérmico bipolar de 25 A/230 V CA
-Q5,-Q6	Interruptor magnetotérmico bipolar de 6 A/230 V CA

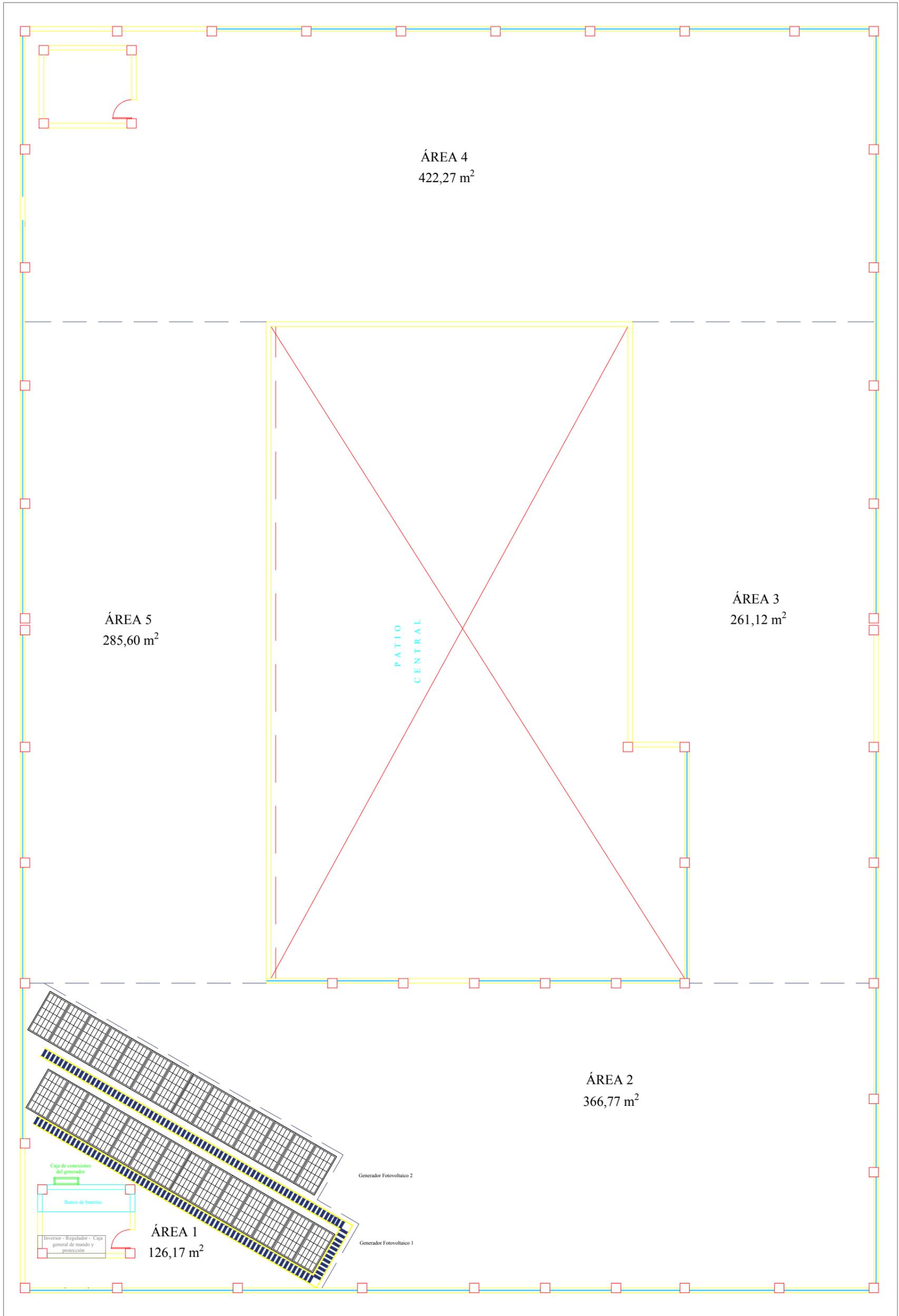
Nombre: Jiménez D.	Tutor: Msc. Proaño J.	Nombre del archivo: Esquema eléctrico.dwg	Fecha: 27/05/2019
ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO		Sistema de Iluminación LED a través de energía fotovoltaico	
		Aparatos de maniobra, protección y sección de los conductores	

Anexo 23: Diagrama unifilar del sistema de iluminación LED.

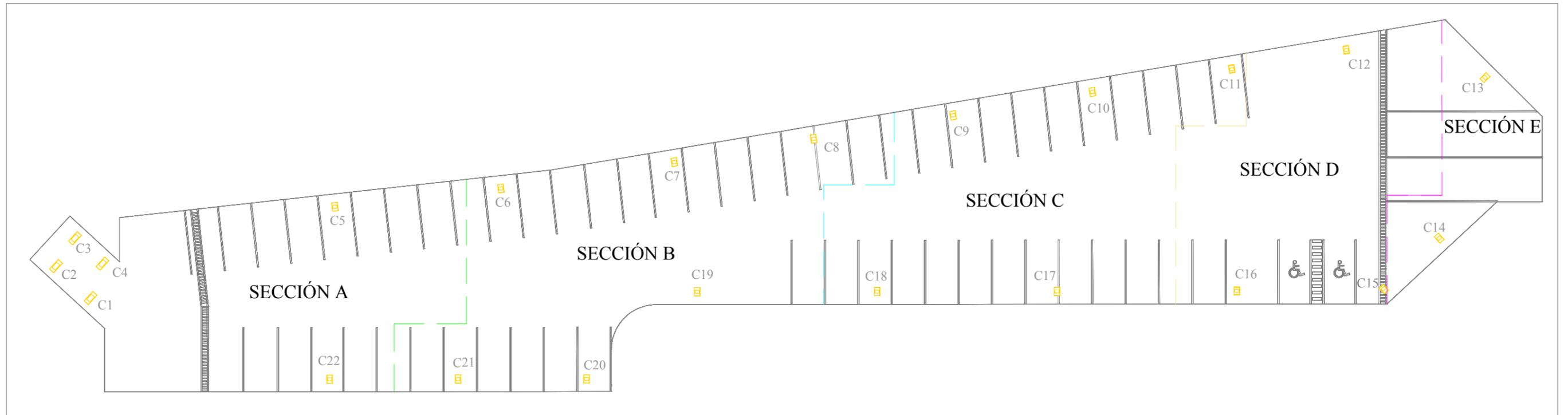


SÍMBOLO	TIPO		
-T3	Inversor 5000 VA - 48 V CC / 230 V CA		
-STDI	Subtablero de distribución interna		
	Tubo PVC II pesado diámetro 50 mm+ + 22 (1x1,5 mm ²)		
	Tubo PVC II pesado diámetro 50 mm+ + 22 (1x1,5 mm ²) XLPE, 0,6/1 kV		
	Tubo PVC II pesado diámetro 50 mm+ + 22 (1x1,5 mm ²) XLPE, 0,6/1 kV		
-Q1.....Q4	4 Intps. magts. 2P de 6 A/230 V	Universidad Técnica de Cotopaxi	Jiménez D.
-C2.....C4	18 Luminarias LED de 134 W	DIAGRAMA UNIFILAR	27/05/2019
-C1	4 Luminarias LED de 245 W		ALUMBRADO LED

Anexo 24: Ubicación de los equipos del sistema fotovoltaico autónomo.



Anexo 25: Ubicación de las luminarias del sistema de iluminación LED.



Anexo 26: Resumen ejecutivo del proyecto de investigación.

Una primera etapa consistió en el estudio de iluminación efectuado en el estacionamiento N° 1 de la U.T.C., los valores de los niveles lumínicos actuales al igual que el promedio por cada punto evaluado se describen en el anexo 3 como resultado de las mediciones mediante el luxómetro Digisense modelo 20250-00, estos datos se emplean para calcular la iluminación media E_m , en el acceso, franjas de circulación vehicular y plazas de estacionamiento, desde la sección A hasta la sección E.

Posteriormente en la tabla 11 se evalúa según la normativa NTE INEN 2248 el estado actual de los niveles de iluminancia del parqueadero, confirmando que el sistema de alumbrado incumple con los límites establecidos por la norma para este tipo de proyectos y que su repotenciación es necesaria para brindar niveles de calidad lumínicos.

La propuesta de alumbrado LED para el aparcamiento se lo lleva a cabo mediante el software Dialux evo, evaluando tres factores, niveles de iluminación, índice de uniformidad y límite de deslumbramiento. Los resultados de este estudio al igual que el número de luminarias empleadas se presentan desde la tabla 13 hasta la tabla 17 para las diferentes secciones que componen la zona a iluminar, y en conformidad con los criterios de aceptación mínimos, de 500 lx para el acceso, 90 lx en franjas de circulación vehicular y 30 lx para las plazas de estacionamiento. Además, los valores de uniformidad en cada área evaluada son superiores al límite establecido de 0,5 y en cuanto al deslumbramiento se encuentran por debajo de 50, garantizando de esta manera un sistema de iluminación con niveles de calidad.

Con la finalidad de evaluar la eficiencia del sistema de alumbrado exterior, interviene el concepto de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA), y así, se realiza el cálculo del mismo obteniendo un valor de $1,88 \text{ W/m}^2$ como se puede evidenciar en el apartado **11.3.3**, con un total de 22 luminarias, de las cuales 4 lámparas LED son de 245 W y 18 lámparas LED son de 134 W, disponiendo de un área total a iluminar igual a $1799,69 \text{ m}^2$.

En el caso de la propuesta de iluminación mediante lámparas de vapor de sodio de alta presión los resultados de la simulación se presentan en la tabla 19 con un total de 28 luminarias SON de 276 W, donde se evidencia que los niveles de iluminancia cumplen con la normativa, pero en cuanto a eficiencia de $4,77 \text{ W/m}^2$, la misma es inferior a la del sistema previamente descrito.

Una vez seleccionada la tecnología LED para la remodelación de la iluminación y el total de luminarias, se procede al dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo. Con una

energía necesaria diaria de 40704 W, se cuenta con 28 paneles monocristalinos de 360 W/24 V y un sistema de acumulación compuesto de 28 baterías de descarga profunda de 240 Ah/12 V. Debido a que la corriente nominal del regulador de carga PWM es superior a la intensidad de entrada del equipo seleccionado, se emplean dos reguladores en paralelo de 110 A/48 V. Para el caso del inversor de corriente, se escoge un dispositivo de 5000 VA/48 V.

En el cálculo de la sección de los conductores considerando caídas de tensión y por calentamiento, se dividió el sistema fotovoltaico en cinco tramos. Por lo tanto, para el tramo 1 la sección del conductor es de 4 mm², en el tramo 2 de 35 mm², tramo 3 con una sección de 16 mm², para el tramo 4 de 50 mm² y finalmente el tramo 5 con una sección de 10 mm².

Por ser un sistema cuya inversión inicial es elevada requiere de aparatos en cuanto a maniobra y protección. Para la protección del generador se escoge un cartucho fusible de 15 A y un interruptor seccionador bipolar de 100 A, en cuanto a las baterías la protección de las mismas se lo realiza por medio de un fusible de 110 A, el inversor por ser un trayecto de corriente alterna, se deberá instalara un interruptor automático bipolar de 25 A y un interruptor diferencial bipolar de 25 A de sensibilidad igual a 30 mA.

La caída de tensión para el circuito de utilización será de 2,17 % con un conductor de sección equivalente a 1,5 mm². Dispondrá de cuatro interruptores automáticos magnetotérmicos bipolares de 6 A/230 V, a los cuales se les asignó las cargas equitativamente.

En la tabla 41 se describe el monto inicial de \$ 25.961,65 para la repotenciación del sistema de iluminación mediante tecnología LED, y en la tabla 44 el capital inicial total igual a \$ 30.392,76 en el caso de emplear lámparas de vapor de sodio de alta presión. Este análisis descarta económicamente la propuesta mediante luminarias SON y permite seleccionar a las lámparas LED como la opción idónea por su menor costo en implementación y larga vida útil.

El análisis de rentabilidad del sistema de alumbrado LED mediante energía fotovoltaica refleja en la tabla 47 la inversión inicial de \$ 33.391,06, con ingresos anuales de \$ 927,89 y egresos de \$ 39,36, que se pueden apreciar en la tabla 49 y tabla 52 respectivamente. Con estos parámetros se obtiene un valor de - \$ 30.277,65 para el VAN y - 4,03 % en el caso del TIR, deduciendo que el proyecto no resulta rentable. Con un nuevo valor para el kWh de USD 0,6812 se estima los nuevos ingresos en la tabla 56, con lo cual el VAN es de \$ 66.525,60 y la TIR 25,35 %, siendo el proyecto rentable.